

Aus der Klinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde
Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. med. A. Teymoortash
des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg



Analyse des Einsatzes der digitalen Volumentomographie in der pädiatrischen Kopf-Hals-Bildgebung

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Humanmedizin

dem Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg
vorgelegt von

Lena Strack
aus Kassel

Marburg, 2016

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg am:
09.06.2016

Gedruckt mit der Genehmigung des Fachbereichs.

Dekan: Prof. Dr. med. Helmut Schäfer

Referent: Priv.- Doz. Dr. med. Christian Güldner

1. Korreferent: Prof. Dr. med. Marga Rominger

Für meine tolle Familie

Index

1. Einleitung	6
1.1 Entstehung und Einsatz von Röntgenstrahlung	7
1.2 CT- Anwendung von Röntgenstrahlung in der Computertomographie und Bildentstehung.....	9
1.3 Abgrenzung DVT und CT	12
1.3.1 DVT und Nasennebenhöhlen/Frontobasis.....	15
1.3.2 DVT und Felsenbein/Laterobasis.....	16
1.4 Röntgenstrahlung bei Kindern- besonderes Strahlenrisiko?.....	17
2. Ziel der Arbeit	19
3. Patienten, Material und Methoden.....	21
3.1 Patientenkollektiv.....	21
3.2 Material: Der digitale Volumentomograph ‚Accu-I-Tomo‘	21
3.3 Methoden: Datenerhebung.....	22
3.3.1 Ermittelte Parameter.....	22
3.3.2 Indikationen.....	23
3.3.3 Statistische Auswertung der Daten.....	26
4. Ergebnisse	27
4.1 Ergebnisse auf Gesamtkollektiv bezogen.....	27
4.2 Verteilung des Patientenkollektives auf Region bezogen	31
4.2.1 Felsenbein/Laterobasis.....	31
4.2.2 Nasennebenhöhlen/Frontobasis.....	31
4.3 Technische Parameter.....	32
4.3.1 Rotationswinkel.....	32
4.3.2 Zylinderdurchmesser und Zylinderhöhe (FOV).....	33
4.3.3 Röhrenspannung.....	37
4.3.4 Röhrenstrom	38
4.3.5 Expositionszeit.....	40
4.3.6 Computed Tomography Dose Index.....	41
4.3.7 Schichtdicke und Schichtintervall.....	44
4.3.8 Scout-Aufnahme.....	45
4.3.9 Wiederholung.....	46
4.3.10 Weitere Bildgebung	49
4.4 Indikationen	52

4.4.1 Indikationen der Felsenbeinaufnahmen	52
4.4.2 Indikationen der NNH-Aufnahmen	54
4.4.3 Altersabhängige Indikationen.....	56
4.5 Betrachtung des Einzelfalls ‚sonstige Region‘	59
5. Diskussion	60
5.1 Technische Parameter.....	60
5.1.1 Computed Tomography Dose Index	60
5.1.2 Rotationswinkel.....	62
5.1.3 Field of view.....	64
5.1.4 Röhrenspannung und Röhrenstrom.....	66
5.1.5 Scout-Aufnahmen	68
5.1.6 Wiederholungsaufnahmen.....	70
5.2 Indikationen	72
5.2.1 Indikationen Felsenbein	72
5.2.2 Indikationen NNH.....	85
5.3 Fall ‚sonstige Region‘	97
6. Einschränkungen dieser Studie	98
6.1 Material und Methoden	98
6.2 Literatur	99
7. Ausblick	101
8. Zusammenfassung	103
9. Summary	105
10.Verzeichnisse	109
10.1 Literaturverzeichnis.....	109
10.2 Abbildungsverzeichnis	119
10.3 Tabellenverzeichnis.....	121
11. Anhang	123
11.1 Akademische Lehrer.....	123
11.2 Danksagung.....	124

1. Einleitung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der radiologischen Bildgebung im Kopf-Hals Bereich im Kindesalter. Heute sind zahlreiche Verfahren in der diagnostischen Bildgebung im Bereich der Nasennebenhöhlen (Frontobasis) sowie der Felsenbeinregion (Laterobasis) etabliert. Hierzu zählen die Projektionsradiographie und die Schnittbildgebungsverfahren mittels Computertomographie (CT), Magnetresonanztomographie (MRT) und neuerdings auch die dreidimensionale Volumentomografie (DVT; auch Cone Beam Computer Tomographie (CBCT)). Die Projektionsradiographie, CT und DVT kommen vorwiegend zur Beurteilung knöcherner Pathologien zum Einsatz und beruhen auf der Anwendung von Röntgenstrahlen, während die MRT Untersuchung sehr aufschlussreich bei Weichteilpathologien ist und keine Röntgenstrahlung benötigt. Auch die Sonographie findet bei der Bewertung oberflächlicher Weichteilstrukturen sowie in der Diagnostik der Nasennebenhöhlen Anwendung [28].

Ziel der Bildgebung ist die Unterstützung vorheriger klinischer Untersuchungen, um anschließend die Verdachtsdiagnose zu verifizieren oder ausschließen zu können. Es können genaue Informationen bezüglich der Anatomie und Pathologie gewonnen werden. Dadurch kann eine eventuell nötige operative Therapie präzise geplant werden und eine minimal invasive Therapie ermöglicht werden. Es können weiterhin mögliche Komplikationen visualisiert und verhindert werden [28].

Wichtig ist dabei die ständige Neubewertung von radiologischen Untersuchungsverfahren und -techniken und damit verbundenen Risiken. So werden die vorhandenen Geräte ständig weiterentwickelt und neue Technologien auf den Markt gebracht. Hieraus folgt, dass stets neue Möglichkeiten geboten werden, um das Nutzen-Kosten-Profil und das Nutzen-Risiko-Profil weiter zu verbessern. Beispielsweise findet heute die CT-Untersuchung große Anwendungsbereiche was knöcherne Pathologien betrifft, allerdings bietet die DVT-Untersuchung bei vielen Fragestellungen eine mindestens gleichwertige Alternative. Die DVT wird schon seit längerer Zeit in der Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie eingesetzt und findet seit den vergangenen 10 Jahren vermehrt Einzug in die Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde (HNO). Jedoch

ist die DVT nur in wenigen Leitlinien der HNO-Fragestellungen etabliert, in welchen sie als Alternative zur CT genannt wird. Für eine Vielzahl an Indikationen fehlt allerdings eine solche Stellungnahme durch Fachgesellschaften, weshalb sich der Einsatz derzeit bei vielen Indikationen auf isolierte einzelne Studienergebnisse stützt.

In dieser Arbeit sollen nun die Einsatzmöglichkeiten der DVT bei HNO-Fragestellungen im Kindesalter analysiert werden. Dabei werden die physikalischen Parameter wie beispielsweise die Strahlenbelastung näher betrachtet. Zunächst wird die Entstehung von Röntgenstrahlung beschrieben, da diese die Grundlage für das Funktionsprinzip der CT und DVT ist. Anschließend soll die Funktionsweise der CT und DVT erläutert sowie die Besonderheit des Strahlenschutzes im Kindesalter dargestellt werden.

1.1 Entstehung und Einsatz von Röntgenstrahlung

Die Röntgenstrahlung wurde im Jahr 1895 von Herrn Wilhelm Conrad Röntgen entdeckt [77]. Man versteht unter Röntgenstrahlung elektromagnetische Wellen mit 5-100keV. Sie kann zwischen ultraviolettes Licht und Gammastrahlung eingeordnet werden, wobei hier Überlappungen bestehen. Röntgenstrahlen im engeren Sinn werden in einer Röntgenröhre erzeugt, wobei die Intensität von der angelegten Röhrenspannung abhängig ist.

Röntgenstrahlung setzt sich aus Bremsstrahlung und charakteristischer Strahlung zusammen [98]. Wie diese Strahlungen erzeugt werden, soll der nachfolgende Abschnitt erläutern.

In einer Röntgenröhre werden Elektronen durch eine angelegte Spannung von einer Kathode aus hin zu einer Anode beschleunigt [77]. Die Elektronen treffen anschließend mit einer gewissen kinetischen Energie auf die Anode. Dort findet eine starke Abbremsung der Elektronen statt. Durch dieses Abbremsen entsteht aus der kinetischen Energie Bremsstrahlung und Wärmeenergie. Ein zweiter Mechanismus der Strahlenentstehung ist folgender: Beim Auftreffen der zuvor beschleunigten Elektronen auf Metallatome der Anode (meist Molybdän, Kupfer oder Wolfram), werden Elektronen aus der Hülle jener Atome geschlagen. Die nun entstandene Lücke in der Elektronenschale wird durch andere Elektronen

aufgefüllt, gleichzeitig entsteht bei diesem Vorgang eine sogenannte charakteristische Röntgenstrahlung.

Die entstandene Röntgenstrahlung kann nun Materie durchdringen und wird durch diese absorbiert und somit abgeschwächt. Die Schwächung der Strahlung ist abhängig von der Dicke, der Dichte und der Ordnungszahl des durchstrahlten Materials [98]. Dies ist von großer Bedeutung bei der Entstehung eines Röntgenbildes, da die Schwächung zu einer unterschiedlichen Schwärzung des Röntgenfilms führt, bzw. computergestützt zu unterschiedlichen Grautönen umgerechnet wird.

Die Abschwächung entsteht durch physikalische Prozesse wie Photoabsorption, Compton-Streuung und Paarbildung [98]. Die Tatsache, dass Gewebe unterschiedlich stark zu einer Abschwächung der Röntgenstrahlen führt, ist Voraussetzung für die Erzeugung von zweidimensionalen konventionellen Röntgenbildern oder aber für die Computertomographie, um dreidimensionale Rekonstruktionen zu ermöglichen.

Beim Durchdringen von biologischem Gewebe wirkt die Strahlung ionisierend. Dadurch kann eine Änderung der genetischen Erbsubstanz, der DNA, oder anderer intrazellulärer Strukturen induziert werden [98]. Wird DNA von Keimzellen geschädigt, so können Fehlbildungen bei Nachkommen resultieren, bei Schäden der DNA von Körperzellen können unter anderem Krebserkrankungen (auch noch Jahre nach der Exposition) entstehen, wobei die Strahlenempfindlichkeit je nach Gewebeart variiert. Solche strahleninduzierten Schäden können zu einem großen Teil durch körpereigene Reparaturmechanismen beseitigt werden [78].

Die Grundlage der diagnostischen Radiologie bildet die zweidimensionale Röntgenaufnahme. Hierbei durchdringen Röntgenstrahlen, welche durch eine Röntgenröhre erzeugt wurden, das zu untersuchende Gewebe. Dabei werden, wie erwähnt, die Strahlen je nach Dichte, Dicke des Gewebes und der Ordnungszahl des Materials abgeschwächt. Beispielsweise absorbiert dichtes Knochengewebe sehr viel mehr Strahlung als Weichteilgewebe. Die „übriggebliebenen“ Strahlen schwärzen in Abhängigkeit der Restenergie einen Fotofilm, welcher sich auf der anderen Seite des Patienten befindet oder sie werden über neuere digitale Techniken in ein Bild umgewandelt

(Weichteilgewebe stellt sich dunkler dar als z.B. Knochen). Die Strahlenqualität kann je nach Bereich des Körpers variiert werden indem eine unterschiedliche Röhrenspannung angelegt wird (zwischen 25-120kV). Man unterscheidet ultraharte ($>1\text{MeV}$), harte ($100\text{keV}-1\text{MeV}$) und weiche ($<100\text{keV}$) Strahlung (die Photonen weicher Strahlung haben also eine geringere Energie und eine größere Wellenlänge als harte Strahlung) [98]. Die Absorption im Gewebe ist bei weicher Strahlung hoch, hierdurch kann besonders Weichteilgewebe gut dargestellt werden, da schon kleinste Gewebsunterschiede sichtbar sind (Weichstrahltechnik). Die hohe Absorption führt jedoch zu einer höheren Strahlenbelastung. Die Photonen harter Strahlung besitzen eine höhere Energie und die Wellenlänge der Strahlung ist klein (Hartstrahltechnik). Harte Strahlung wird weniger absorbiert (= weniger Strahlenbelastung), jedoch ist die Streuung größer, hierdurch wird die Bildschärfe, also die Bildqualität, schlechter.

Die Bildqualität ist vor allem abhängig von der angelegten Röhrenspannung, dem Produkt aus Belichtungszeit und Röhrenstrom sowie dem Abstand zwischen Film und Untersuchungsobjekt. Durch die Röhrenspannung kann wie bereits erwähnt die Strahlenqualität variiert werden, also zwischen harter und weicher Strahlung gewählt werden. Mit der Belichtungszeit (s) und dem Röhrenstrom (mA) kann die Menge der Strahlung eingestellt werden. Parameter zur Beurteilung der Bildqualität sind unter anderem das Bildrauschen, die Unschärfe und der Kontrast [77].

Röntgenstrahlung wird nicht nur in der konventionellen zweidimensionalen Projektionsradiographie genutzt, sie ist ebenfalls die Grundlage für neuere Technologien wie Computertomographie und Cone-Beam-CT/DVT. Diese Technologien sollen nun vorgestellt werden.

1.2 CT- Anwendung von Röntgenstrahlung in der Computertomographie und Bildentstehung

Die Computertomographie wurde durch Godfrey Hounsfield maßgeblich entwickelt und kam 1971 erstmals bei einem Patienten zur Anwendung [77]. Mit Hilfe eines Computertomographen werden unter Anwendung von Röntgenstrahlen Schnittbilder erzeugt, so dass überlagerungsfreie Bilder

entstehen. Es werden Bildprofile aus vielen verschiedenen Richtungen erzeugt und daraus computergestützt ein Schnittbild rekonstruiert (-tome Schnitt, -graphos schreiben). Die CT ist das meist genutzte Schnittbildverfahren für jegliche Indikationen [22].

Während der Untersuchung wird der Patient auf einem beweglichen Tisch gelagert. Dieser Tisch wird in Abhängigkeit der zu untersuchenden Region in einen Tunnel (Gantry) gefahren. Eine sich drehende Röntgenröhre fährt um den Patienten, die Röntgenstrahlen tasten die Region dabei fächerförmig, schichtweise und aus verschiedenen Richtungen ab. Die einzelnen Strahlen werden auf dem Weg durch den Körper geschwächt/absorbiert. Der nun geschwächte Strahl trifft nach Durchtritt durch den Körper auf einen nachgeschalteten, äußerst sensitiven Detektor, welcher die übriggebliebene Strahlenintensität in elektrische Signale umwandelt. Da die Strahlen aus allen möglichen Richtungen aufgefangen werden ist eine hohe Ortsauflösung möglich. Um zu bestimmen, wie stark der einzelne Röntgenstrahl abgeschwächt bzw. absorbiert wurde, werden Verfahren wie die gefilterte Rückprojektion nach Radon oder die iterative Rekonstruktion (rechnerisches Verfahren) angewandt [77]. Nun liegt eine Matrix aus digitalen Schwächungswerten vor.

Bei der nun folgenden Bildrekonstruktion werden einzelne Bildpunkte (Pixel) betrachtet, wobei jeder Bildpunkt ein Volumenelement (Voxel) repräsentiert, da man bei einem Schnittbild messtechnisch von einer definierten Schichtdicke ausgehen muss ($\text{Voxel} = \text{Pixel} \times \text{Schichtdicke}$) [98]. Die Voxel repräsentieren also die jeweilige Strahlenschwächung aus verschiedenen Richtungen. Aus der Schichtdicke und dem gewählten Bildausschnitt ergibt sich die Größe der Voxel. Die Schichtdicke kann variiert werden, so ist für eine Standard-Bildgebung im Rahmen der Diagnostik eine Dicke von 2-3mm ausreichend, zur Planung einer intraoperativen Navigation hingegen sollte eine Schichtdicke von 1mm oder weniger gewählt werden [22]. Bei früheren Geräten waren diese Voxel meist bedingt durch die größere Schichtdicke stabförmig (anisotrop). Durch die Möglichkeit, die Schichtdicke weiter reduzieren zu können, werden bei neueren Geräten würfelförmige (isotrope) Voxel erzeugt. Jedes Voxel bekommt nun einen Zahlenwert (CT-Wert) zugeordnet, welcher angibt, wie stark der Röntgenstrahl beim Durchtritt durch das Gewebe geschwächt wurde. Diese CT-Werte werden

in Hounsfield-Einheiten (HE) angegeben und repräsentieren verschiedene Grautöne, wobei die Helligkeit von der Dichte des Materials und somit der Absorption abhängt [98]. Wasser wurde willkürlich ein Wert von 0 HE zugeteilt, weniger Dichte Materialien haben demzufolge negative HE-Werte und dichtere Materialien positive HE-Werte [77]. Der Patient wird dann langsam durch die Röhre gefahren und es entstehen auf diesem Weg nacheinander viele einzelne Schnittbilder.

Bei einem Spiral-CT werden nicht mehr einzelne Schichten nacheinander untersucht, sondern die Röntgenröhre und der Detektor fahren kontinuierlich 360° um den Patienten, während dieser in Längsachse durch den Tunnel gefahren wird. Durch dieses Verfahren sind kleinere Schichtdicken möglich, größere Volumen können in weniger Zeit untersucht werden und annähernd dreidimensionale Bilder können konstruiert werden.

Um anschließend einen Wert für die angewandte Strahlendosis zu bekommen, wird der CDTI-Wert benutzt. Unter CDTI versteht man den ‚Computed Tomography Dose Index‘, welcher in mGy angegeben wird. Mit Hilfe des CDTI soll die Energiedosis an einem bestimmten Ort erfasst werden. Er bezieht sich auf eine bestimmte Schichtdicke, wobei auch außerhalb dieser Schicht bedingt durch Streustrahlung Dosisanteile gemessen werden können. Der CDTI berechnet sich somit aus derjenigen Energiedosis, welche in einem bestimmten rechteckigen Profil innerhalb einer Schichtdicke absorbiert worden wäre, zusätzlich addiert man noch diejenigen Dosisanteile, welche außerhalb der Schichtdicke absorbiert werden. Der CDTI kann mit Hilfe von speziellen Phantomen bestimmt werden. In vielen Studien ist auch die Rede von dem ‚gewichteten‘ CTDI_w, dieser berechnet sich aus der Summe der CTDI –Werte zentral und peripher, welche zuvor mit einem Wichtungsfaktor multipliziert wurden. Anschließend kann der CTDI_w mit der Länge des untersuchten Volumens multipliziert werden, um die Strahlenbelastung des Patienten während dieser CT-Untersuchung zu bestimmen, man erhält dann das Dosis-Längen-Produkt (DLP) [84].

1.3 Abgrenzung DVT und CT

Auch bei der Technologie der digitalen Volumentomographie (DVT), auch Cone-Beam-CT (CBCT) genannt, werden Röntgenstrahlen angewandt. Allerdings sind diese nicht fächerförmig angeordnet, wie es beim CT der Fall ist, sondern beim DVT sind sie durch den Einsatz von Kollimatoren kegelförmig („Cone'-Beam). Die Spitze des Kegels liegt an der Strahlenquelle, die Basis am Detektor [118]. Die Kegelform hat den Vorteil, dass weniger Gewebe außerhalb des interessierenden Bereiches bestrahlt wird [97]. Die Strahlenquelle ist ebenfalls eine Röntgenröhre, sie bildet eine Einheit mit einem gegenüberliegenden, großen Detektor. Diese Einheit rotiert je nach Einstellung um 180° oder um 360° um die „Region of interest“, ROI, des Patienten. Dabei werden im Abstand von je einem Winkelgrad durch die kegelförmigen Röntgenstrahlen Projektionsbilder erzeugt. Durch diese vielen Aufnahmen verschiedener Winkel entsteht letztendlich ein 3D-Datensatz. Für diesen Vorgang ist nur ein Umlauf nötig, um das gesamte Gebiet darzustellen (vgl. beim CT werden viele Schichten nacheinander durchlaufen) [118]. Die Untersuchungsdauer beträgt im Standardmodus 9 bis 18 Sekunden (kann aber auf 30 Sekunden erweitert werden), was im Vergleich zum CT eine geringere Untersuchungszeit ergibt. Computergestützt werden unter Anwendung des modifizierten Feldkamp Algorithmus [84] oder ebenfalls durch die iterative Rekonstruktion der Datensatz zu zweidimensionalen Schnittbildern in koronarer, axialer und sagittaler Ebene verrechnet (vergleichbar mit CT-Schnittbildern). Zusätzlich zu diesen zweidimensionalen Bildern kann ein dreidimensionales Modell oder Schnittbilder aller Raumebenen konstruiert werden. Das 3D-Modell setzt sich aus vielen einzelnen meist isotropen Voxeln zusammen [18]. Der Strahlenkegel erfasst das Objekt dreidimensional, so dass man nur einen bestimmten Ausschnitt erhält, den das Gerät maximal darstellen kann (FOV - field of view), dieser ist zylindrisch geformt und kann in verschiedenen Größen gewählt werden (Bsp.: 9 Eistellungsmöglichkeiten bei dem Gerät „3D Accuitomo 170“ von 40x40mm bis 170x120mm) [65].

Während der Untersuchung kann der Patient je nach Gerät stehend, liegend oder sitzend gelagert werden, wobei eventuell weitere Fixierungshilfen benötigt werden. Mittels Lichtvisier kann die Region of interest (ROI) eingestellt werden oder aber man bedient sich einer zweidimensionalen Scout-Aufnahme, um die

Einstellung der ROI zu kontrollieren und zu optimieren.

Bei dem digitalen Volumentomographen handelt es sich um ein offenes System, der Patient wird also nicht in eine ‚Röhre‘ gefahren, dadurch ergeben sich weniger Klaustrophobie bedingte Zwischenfälle. Zusätzlich bietet die Einstellung der 180° Untersuchung den Vorteil, dass die Gesamtzeit der Untersuchung minimiert werden kann. Dadurch können beispielsweise auch bei unkooperativen Patienten Aufnahmen mit möglichst wenig Bewegungsartefakten erstellt werden und gleichzeitig nur eine geringe Strahlendosis appliziert werden. Allerdings geschieht dies auf Kosten der Bildqualität. Im Gegensatz zum CT ist das abzubildende Zielvolumen kleiner, wodurch die applizierte Strahlendosis ebenfalls geringer ist. Insgesamt konnte in Studien eine geringere Strahlenapplikation beim DVT als beim CT nachgewiesen werden, wobei die Genauigkeit anatomischer knöcherner Landmarken der CT mindestens äquivalent ist [43]. Es gibt zahlreiche Studien zum Vergleich der Bildqualität und der Strahlendosis zwischen der digitalen Volumentomographie und der Computertomographie. Wobei einige eine Überlegenheit des DVT's [19, 84] andere die des CT's [71] beschreiben. Carrafiello et al zeigten eine geringere Strahlenexposition bei äquivalenter Bildqualität und weniger Metallartefakte im Vergleich zum CT bei der Darstellung von knöchernen Strukturen sowie eine Unterlegenheit bei der Darstellung von Weichteilgewebe.

Die DVT-Untersuchung eignet sich heutzutage im Wesentlichen für die Darstellung der knöchernen Strukturen des Schädels. In der Zahnheilkunde wird sie schon seit längerer Zeit angewandt und wird hier auch als Dentale-Volumentomographie bezeichnet. Mit Hilfe des DVT's konnten Operationen präziser geplant werden und Komplikationen z.B. aufgrund schlechter Knochenqualität vermieden werden [26].

Das Anwendungsgebiet wurde immer vielfältiger, so dass die DVT auch in der MKG (Mund-Kiefer-Gesichts-Chirurgie), Traumatologie und mittlerweile auch in der HNO (Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde) Einzug erhalten hat. Innerhalb der HNO wird die DVT-Untersuchung insbesondere bei Fragestellungen, welche das Felsenbein oder die Nasennebenhöhlen betreffen, angewandt. Auch kleine knöcherne Strukturen können durch die geringe Größe der einzelnen Voxel und die geringere Schichtdicke bei der DVT genau dargestellt werden (DVT:

Voxelkantenlänge bis 0,08 mm, Schichtdicke 0,125 mm; CT: Voxelkantenlänge 0,4 mm, Schichtdicke 0,5-1 mm) [11, 13, 65, 112], Weichteilstrukturen kommen hingegen nicht gut zur Darstellung.

Um die applizierte Strahlendosis zu bewerten, wird auch hier der CTDI-Wert benutzt, somit ist eine Vergleichbarkeit der Strahlendosen mit dem der CT-Untersuchungen gegeben [71]. Die Anwendungsbereiche zur diagnostischen DVT-Bildgebung in der HNO werden in den folgenden Abschnitten erläutert.

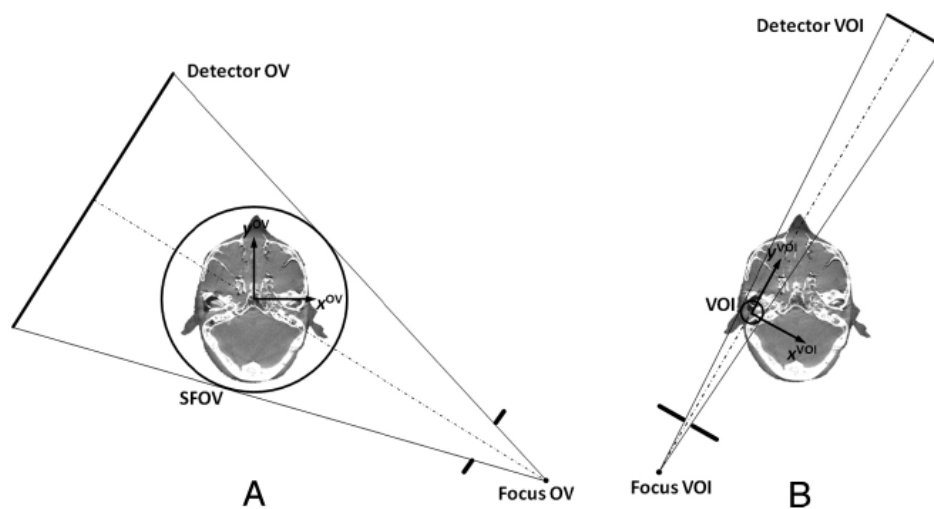


Abbildung 1: A Overview-Scan (Scout-Aufnahme) und B Volume of interest (VOI) Bildgebung mittels DVT [68]

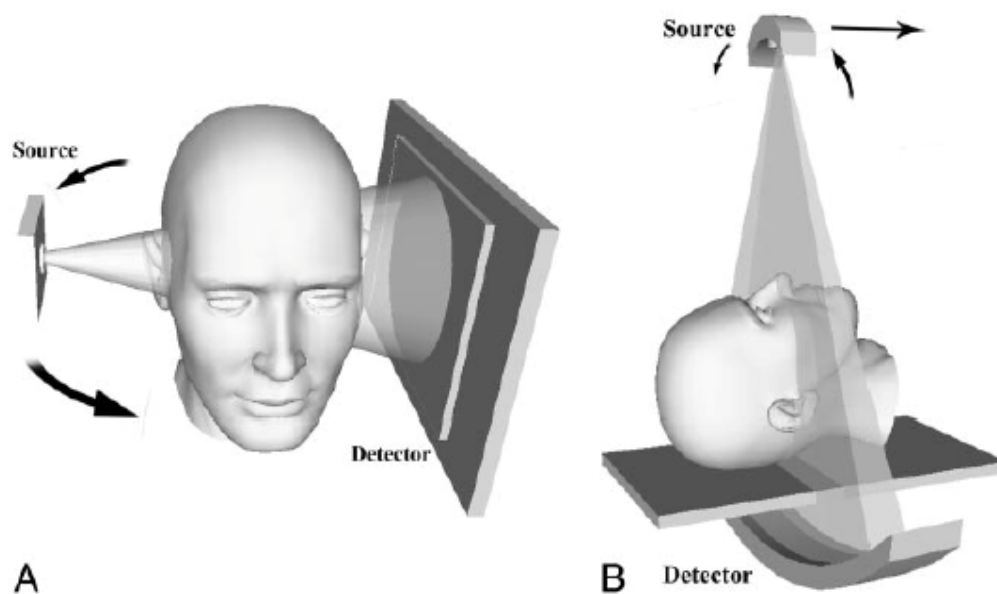


Abbildung 2: Strahlengang bei A der DVT (kegelförmig) und B der CT (fächerförmig) [84]

1.3.1 DVT und Nasennebenhöhlen/Frontobasis

CT-Untersuchungen bieten gegenüber konventionellen projektionsradiographischen Aufnahmen den Vorteil, dass die Anatomie überlappungsfrei dargestellt werden kann und folgend chirurgische Eingriffe präziser geplant und mikrochirurgisch durchgeführt werden können. Insbesondere bei der Darstellung knöcherner Strukturen der Frontobasis stellte sich die konventionelle Radiographie in den vergangenen 30 Jahren als meist angewandt aber zugleich oft unzureichend dar [28]. Dennoch wird sie auch heute noch aus kosten.- und zeittechnischen Gründen sowie im Vergleich zur CT geringerer Strahlenbelastung häufig angewandt. Allerdings wird die konventionelle Radiographie zum Beispiel in der Leitlinie der deutschen Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie zur Rhinosinusitis nicht mehr zur Diagnostik im Bereich der Frontobasis empfohlen, vielmehr wird auf moderne Schnittbildtechniken verwiesen [32]. Noch wird die CT als Standard betrachtet, aber auf die Verwendungsmöglichkeit einer DVT hingewiesen, wobei eine abschließende Bewertung noch ausstehe.

Bei der Darstellung feinsten knöchernen Strukturen des Nasennebenhöhlenbereichs und der Darstellung von anatomischen Landmarken (bsp: Processus uncinatus, Bulla ethmoidalis und frontalis, Recessus frontalis, N. opticus, Kanal der A. carotidea [12]) erwies sich die DVT als mögliche Alternative zur CT [76]. Neuere Geräte lassen ein FOV von 10 x 10cm oder sogar 12 x 17 cm zu, hierdurch ist in der Regel die vollständige Abbildung des gesamten Nasennebenhöhlenbereichs bzw. der knöchernen Strukturen der Frontobasis in eine Aufnahme möglich [118].

Weitere Indikationen neben der Rhinosinusitis zur Bildgebung mittels DVT sind beispielsweise die Darstellung der Anatomie bei Nasenatmungsbehinderung oder der Ausschluss von Mittelgesichtsfrakturen insbesondere der Nasenbeinfraktur. Bei der Beurteilung und Diagnostik von Nasenbeinfrakturen wird von einer Überlegenheit gegenüber der konventionellen, seitlichen Röntgenaufnahme gesprochen [13]. Auch zur eventuellen operativen Rekonstruktionsplanung oder zur Planung anderer operativer Eingriffe kann sie Vorteile bieten, so können beispielsweise anatomische Variationen erkannt werden und damit eventuelle Komplikationen verhindert werden. Allerdings

werden Weichteilstrukturen nicht dargestellt, hier bleibt die CT oder die MRT noch die bessere Wahl.

1.3.2 DVT und Felsenbein/Laterobasis

Auch in der Darstellung der Laterobasis hat die Schnittbildtechnik mittels CT die konventionelle Radiographie abgelöst. Insbesondere bei Fragestellungen betreffend Schwerhörigkeit, Fehlbildungen des Ohres und Mittelohrdestruktionen ist die CT Methode der Wahl. Mittels DVT können die feinen knöchernen Strukturen der Felsenbeinregion bei im Vergleich zur CT geringerer Strahlendosis sehr präzise dargestellt werden, sodass auch die Ossikelkette, die Belüftung des Mastoids, der Kanal des N. facialis, die Cochlea und das Labyrinth gut zu beurteilen sind [25, 26]. Es wird sogar von einer Überlegenheit des DVT's gegenüber eines CT's in diesem Bereich gesprochen [112]. Andere Studien kamen nur auf vergleichbare Ergebnisse bezüglich der Präzision zwischen DVT und CT [95].

Die DVT-Untersuchung kann bei Schwerhörigkeit aufschlussreich sein und eventuell vorliegende Pathologien erfolgreich aufzeigen [12]. Auch Arrosionen knöcherner Strukturen beispielsweise durch Cholesteatome können dargestellt werden. Anatomische Landmarken vor geplanten Operationen, Mittelohr- und Innenohrimplantate sowie Komplikationen bei Mittelohrerkrankungen können visualisiert werden. In einer Studie von Offergeld et al. konnte gezeigt werden, dass die DVT gut zur Beurteilung und Kontrolle von Mittelohrimplantaten ist [92], da die Aufnahmen weniger Metall-Artefakte durch das Implantat als CT-Aufnahmen dieser Region zeigen [95] und man durch diese Untersuchung überflüssige Revisions-OP's vermeiden kann. Vorteil der DVT-Untersuchung gegenüber einer CT liegt insbesondere in einer geringeren Strahlendosis (DVT: CTDI von 5,6 mGy – 1 Felsenbein; CT: CTDI 60 mGy – gesamter Schädel) [11] und einer kürzeren Untersuchungszeit, wobei zu beachten ist, dass beim DVT je eine Aufnahme pro Seite nötig ist.

1.4 Röntgenstrahlung bei Kindern- besonderes Strahlenrisiko?

Medizinische Untersuchungen mit ionisierenden Röntgenstrahlen machen ca. 14% der totalen Strahlenexposition weltweit aus. Generell können ionisierende Strahlen eine karzinogen wirken, indem Mutationen der DNA induziert werden [78]. Bei der Betrachtung des Strahlenrisikos ist wichtig, dass die Strahlenempfindlichkeit des Gewebes von der Mitoserate der Zellen abhängt. Diejenigen Zellen, welche eine hohe Mitoserate besitzen, sind wesentlich empfindlicher gegenüber ionisierender Strahlung, da in dieser Phase die DNA und beteiligte Proteine besonders störanfällig sind. Im Kindesalter sind bedingt durch das Wachstum wesentlich mehr Zellen mitotisch aktiv und dadurch gefährdet, sodass die Strahlensensitivität im Neugeborenenalter am höchsten ist und dann stetig abnimmt [7]. Bei Erwachsenen sind nur noch bestimmte Gewebe ständig mitotisch aktiv, sodass die kindlichen Zellen eine bis zu 10x höhere Strahlensensitivität aufweisen, außerdem scheinen die Zellen von Mädchen sensibler zu sein als diejenigen von Jungen [87]. Die Reparaturmechanismen, welche eigentlich neu entstandene Mutationen reparieren, funktionieren noch nicht so effizient wie diejenigen von Erwachsenen [117]. Außerdem sind kindliche Zellen reich an Wasser, was zu einer höheren Dichte und damit ebenfalls zu einer höheren Strahlenabsorption führt. Um eine ausreichende Bildqualität zu erreichen, ist aufgrund der höheren Absorption eine höhere Strahlendosis nötig.

Auch die Körperproportionen vor allem bei Säuglingen und Kleinkindern sind relevant [117]. Der Körper weist zwar eine geringere Objektdicke auf, ist aber kürzer und dadurch gedrungen, dies bewirkt, dass wesentlich mehr strahlenempfindliches Gewebe im Strahlenfeld oder im Feld der Streustrahlung liegt [59]. Gerade das blutbildende Knochenmark ist vermehrt gefährdet und das Risiko an einer Leukämie zu erkranken ist somit höher. Denn „beim Erwachsenen sind im Stammskelett 74 % (WS, Rippen, Becken) und in den Extremitäten nur noch 9 % lokalisiert (7). Der Anteil im Schädelknochen beträgt bei Erwachsenen 8 %, bei Säuglingen 27 %. Im Körperstammskelett des Säuglings befinden sich 29 % und in den Extremitäten 35 %. So liegen bei Säuglingen in allen Körperbereichen einschließlich der Extremitäten große Anteile von blutbildendem Mark“ [4]. Hinzu kommt, dass die Strahlenschäden,

beispielsweise an einem Malignom zu erkranken, meist erst nach einer Latenz von Jahren auftritt und die Strahlenexposition bei evtl. späteren nötigen Bildgebungen akkumuliert. Hierunter fallen vor allem Hirntumore nach Bildgebung des Kopfes und Tumoren des Gastrointestinalsystems bei CT-Bildgebung des Abdomens. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Kind dies „noch“ erlebt ist wesentlich höher als bei der Bildgebung von Erwachsenen [14, 115]. Außerdem können die Keimzellen von Kindern beschädigt werden. Nimmt man nun an, dass diese Kinder spätere potentielle Eltern sind, steigt das Risiko für Fehlbildungen bei den Nachkommen.

Bei Kindern bestehen andere Indikationen als im Erwachsenenalter. Außerdem wird häufiger eine CT-Untersuchung durchgeführt obwohl eigentlich auch ein MRT, welches kein Strahlenrisiko trägt, möglich wäre [83, 115]. Dies ist darin begründet, dass aufgrund der längeren Untersuchungszeit eine Sedierung nötig ist, da besonders Kleinkinder nicht ausreichend kooperationsfähig sind. Um das Lebenszeitrisiko eines Kindes an Krebs bzw. Folgeschäden durch radiologische Diagnostik zu erkranken zu minimieren, ist es von besonderer Bedeutung, die Indikation streng zu stellen und gerätespezifische Einstellungen vorzunehmen um die geringstmögliche Strahlendosis zu erhalten. Außerdem ist die Kooperationsfähigkeit des jeweiligen Kindes zu beurteilen, denn während der Untersuchung ist es meist erforderlich ruhig zu halten (bis zu 30 Sekunden beim DVT) um Bewegungsartefakte zu vermeiden, denn dann wäre evt. eine weitere Bildgebung mit erneuter Strahlenbelastung nötig. Aus all den angeführten Gründen wird deutlich, wie wichtig die Indikationsstellung und die Reduktion der Strahlendosis ist (auch die Anwendung des ALARA Prinzips in der Pädiatrie macht dies deutlich). Da die DVT im Vergleich zum CT bei Fragestellung der Frontobasis und Laterobasis betreffend eine gleichwertige Alternative ist und gleichzeitig eine geringere Strahlendosis aufweist, ist es Ziel dieser Arbeit, den Einsatz der digitalen Volumentomographie im Kindesalter zu analysieren, um eventuelle Verbesserungsmöglichkeiten zu erkennen.

2. Ziel der Arbeit

In der Einleitung konnte bereits dargelegt werden, dass der Strahlenschutz insbesondere bei Kindern eine besondere Bedeutung hat. Neben der CT, welche in der Regel eine höhere Strahlenbelastung als die DVT bewirkt, wird seit den letzten Jahren vermehrt die DVT als neuere Technik zur Bildgebung der Laterobasis sowie der Frontobasis bei HNO-Fragestellungen in der klinischen Routine angewendet. Goldstandard ist heute allerdings meist noch die CT, da erstens die Geräte nur an einigen Zentren verfügbar sind und zweitens der DVT-Einsatz bisher nur in wenigen Leitlinien umgesetzt ist sowie die zuständigen Fachgesellschaften noch keine allgemeingültigen Aussagen bezüglich der Anwendung der DVT geäußert haben.

Am Universitätsklinikum Marburg wird seit 2002 diese Technologie neben Forschungsaspekten auch in der Routinediagnostik verwendet, so dass bisher etwa 9000 Aufnahmen zur weiteren Auswertung zur Verfügung stehen. Daher wurde bereits in einer weiteren Dissertationsarbeit der DVT-Einsatz in der täglichen Routine der Jahre 2012 und 2013 mit dem Fokus auf die Bildgebung bei Erwachsenen durchgeführt [109].

Ziel dieser Arbeit war es deshalb, den DVT-Einsatz bei HNO-Fragestellungen im Kindesalter in der klinischen Routine des Universitätsklinikums Marburg zu untersuchen. Damit kann diese Studie einen wichtigen Beitrag leisten, um die Anwendbarkeit der DVT als neue Technik für die verschiedenen Indikationen und die Bildgebung im Kindesalter neben anderen Bildgebungsmethoden wie CT und MRT kritisch zu beurteilen und eventuelle Verbesserungsmöglichkeiten zu verdeutlichen.

Dabei sollten einerseits die technischen Einstellungsparameter erhoben werden um zu bewerten, ob eine Verbesserung hinsichtlich des Strahlenschutzes möglich ist und um mögliche Unterschiede in der Geräteeinstellung für die Regionen, Indikationen und Altersgruppen zu erkennen. Andererseits sollten die Indikationen und der Nutzen des DVT-Einsatzes bei diesen Indikationen analysiert werden.

Dabei waren folgende Fragestellungen und Überlegungen Grundsatz für diese Arbeit:

A. Geräteeinstellungen

- Bestehen Unterschiede hinsichtlich der Geräteeinstellungen für die Regionen Laterobasis/Frontobasis, für die verschiedenen Altersgruppen oder Indikationen?
- Wie lassen sich bestehende Unterschiede erklären?
- Sind Änderungen möglich um die Strahlendosis zu reduzieren bzw. um die Bildgebung zu optimieren?
- Wie häufig wurden Scout-Aufnahmen durchgeführt? Gibt es Unterschiede in den Altersgruppen bzw. Regionen?
- Wie häufig wurden Wiederholungsaufnahmen gefahren? Gibt es Unterschiede in den Altersgruppen bzw. Regionen? Und was war der Grund für die Wiederholung?
- Wie häufig wurden weitere Bildgebungen durchgeführt? Gibt es Unterschiede in den Altersgruppen bzw. Regionen? Konnten hierdurch zusätzliche diagnostische Informationen gewonnen werden?

B. Indikationen

- Welche Indikationen gibt es und wie sind die Häufigkeiten?
- Konnte die DVT-Bildgebung ausreichend diagnostische Informationen liefern, oder waren weitere Bildgebungen nötig?
- Wie ist die aktuelle Studienlage bezüglich der Rechtfertigung der DVT-Bildgebung bei der jeweiligen Indikation?
- Welches Vorgehen beschreibt die jeweilige Leitlinie bzw. ist die DVT hier bereits etabliert?

3. Patienten, Material und Methoden

3.1 Patientenkollektiv

Im Rahmen dieser retrospektiven Studie wurden aus der Datenbank sämtlicher Untersuchungen alle Patienten mit einem Alter zum Zeitpunkt der Aufnahme von unter 19 Jahren (Altersgruppe 0-18 Jahre) erfasst, welche im Zeitraum 2004 bis zum 03.06.2013 eine DVT Aufnahme am Uniklinikum Marburg erhalten haben. Als jeweils einzelner Fall wurden hier auch diejenigen Patienten gewertet, welche zeitlich unabhängig mehrere Aufnahmen erhielten. Entsprechend wurden Patienten, welche am selbigen Tag eine Wiederholungsaufnahme erhielten, nicht als einzelner Fall gewertet. Hieraus ergab sich nun in der Auswertung der zugrundeliegenden Bilddatenbank ein Patientenkollektiv aus insgesamt 650 Patienten. Unter diesem Kollektiv waren 96 Patienten, deren DVT-Aufnahme nicht durch die HNO-Abteilung sondern durch die Abteilung der MKG indiziert bzw. durchgeführt wurde. In dieser Studie wurden nur diejenigen Daten von Patienten berücksichtigt, welche eine DVT-Bildgebung durch die HNO-Abteilung erhalten haben, da nur so ein Zugriff auf die gesamten Daten und der Fokus auf den Stellenwert in der HNO-Bildgebung möglich war. Letztendlich ergab sich daraus ein Patientenkollektiv von 554 Patienten, deren Daten in der folgenden Statistik ausgewertet wurden. Sämtliche Aufnahmen wurden initial durch die Abteilung für Neuroradiologie indiziert und durchgeführt und jetzt im Rahmen der Dissertation retrospektiv ausgewertet.

3.2 Material: Der digitale Volumentomograph ,Accu-I-Tomo'

Die Bildgebung erfolgte am Uniklinikum Marburg mit dem DVT-Gerät *3D Accu-I-Tomo, Modell MCT-1, Typ EX-2 F17 (Morita, Kyoto, Japan)*. Bei diesem Gerät sitzt der Patient während der radiologischen Untersuchung auf einem höhenverstellbaren Stuhl, der Kopf wird mittels Kinn- und Kopfstützen stabilisiert und positioniert. Die korrekte Einstellung des zu untersuchenden Gebietes (auch: ROI ,region of interest') erfolgt mit Hilfe von drei Laser-Lichtvisieren, sogenannte Pilotstrahlen, welche auf der Haut sichtbar sind. Außerdem kann mit geringerer Strahlendosis ein Vorschaubild (Scout-

Aufnahme) beispielsweise des gesamten Kopfes angefertigt werden, wodurch die Positionierung weiter präzisiert werden kann. Durch diese Präzision kann durch Optimierung der ROI die Röntgenstrahlendosis gemindert werden, außerdem kann die Auflösung erhöht sowie Bildverzerrungen minimiert werden. Nun kann eine Röhrenspannung zwischen 60- 90kV und einer Stromstärke von 1- 10mA angelegt werden. In Abhängigkeit der zugrundeliegenden Fragestellung kann das Volumen der Bildgebung (VOI, Volume of interest) in 9 Stufen variiert werden: 4x4cm, 6x6cm, 8x8cm, 10x10cm, 10x5cm, 14x10cm, 14x5cm, 17x5cm bis 17x12cm (Zylinderdurchmesser x Höhe). Die Untersuchungszeit kann im Standardmodus zwischen 9 bis 17,5 Sekunden gewählt werden und anschließend eine 180° oder 360° (je nach eingestellter Rotation des C-Armes) Darstellung des ROI erfolgen. Es werden verschiedene Aufnahmemodi differenziert. Beispielsweise kann der verfügbare Hochgeschwindigkeits-Modus, bei welchem die Aufnahme in ca. 5s erstellt wird, insbesondere für die Bildgebung bei Kindern oder Personen geeignet sein, bei welchen eine bewegungslose Aufnahme sonst erschwert ist. Ein Flachbilddetektor (FPD) wandelt die gewonnen Informationen in ein Digitalsignal um und überträgt dieses anschließend an einen Computer. Mittels Computer werden aus den Rohdaten die jeweiligen Bilder rekonstruiert. Mit der gerätespezifischen Bildbearbeitungssoftware für 3D-Aufnahmen „i-Dixel“ (i-Dixel 2.0 Morita, Kyoto, Japan) erfolgt anschließend die Bearbeitung, Auswertung und Archivierung der Schnittbilder. Hierbei können sagittale, axiale und horizontale Schnittbilder erzeugt werden sowie 3D-Bilder berechnet werden.

3.3 Methoden: Datenerhebung

3.3.1 Ermittelte Parameter

Von den 554 Patienten wurden zunächst die demographischen Parameter wie das Geschlecht, Geburtsdatum und Alter während der bildgebenden Diagnostik und das Datum zum Zeitpunkt der Aufnahme erhoben. Die prinzipielle Zielregion der Bildgebung wurde erfasst, hier waren die 3 Möglichkeiten Nasennebenhöhlen (NNH), Felsenbein oder sonstige Region gegeben. Zusätzlich wurde der Einsatz einer vorangegangenen Scout-Aufnahme, die eventuelle

Notwendigkeit einer Wiederholungsaufnahme oder die Durchführung einer weiteren Bildgebung notiert. Auch die jeweilige Indikation für die Bildgebung mittels DVT, die Fragestellung an die Bildgebung und die anschließende Diagnose wurden dem klinischen Informationssystem (Orbis) entnommen. Als technische Daten wurden am DVT-Gerät die Röhrenspannung (kV), der Röhrenstrom (mA), der gewichtete CTDI (CTDI_w) (mGy) als Parameter für die jeweilige Strahlenbelastung, die Expositionszeit (s), das Schichtintervall (mm) sowie die Schichtdicke (mm) der rekonstruierten Aufnahme sowie der Zylinderdurchmesser (cm) und die Zylinderhöhe (cm) des Aufnahmevolument erfasst.

2.3.2 Indikationen

Mithilfe des Klinikinformationssystems ORBIS wurde die rechtfertigende Indikation der jeweiligen Bildgebung auf Basis der vorliegenden Dokumentation/ Anforderung der Kollegen der Neuroradiologie sowie das weitere Vorgehen aus der HNO-ärztlichen Krankenakte recherchiert. Hierbei wurde insbesondere dokumentiert, ob eine Wiederholungsbildgebung oder eine weitere Bildgebung mit anderen Modalitäten benötigt wurde, um eine Diagnose zu stellen bzw. eine Therapie zu planen, außerdem wurde die letztendliche klinisch-radiologische Diagnose notiert.

Zunächst wurde die jeweilige Indikation einzeln notiert. Bei der Auswertung wurden diese der Übersichtlichkeit halber zunächst in Gruppen zusammengefasst. Beispielsweise wurden in die Gruppe ‚persistierende Cephalgie‘ folgende Untergruppen zusammengefasst ‚Cephalgie‘, ‚frontale Cephalgie‘ und ‚Druckgefühl Siebbein/Stirnhöhle‘. Die folgende Tabelle zeigt, wie sich die einzelnen Indikationsgruppen aus den initialen Einzelindikationen zusammengesetzt haben.

Laterobasis	
Zusammengefasste Indikationen	Unterindikationen
Otitis media chronica epitympanalis	Otitis media chronica epitympanalis (43)
Otorrhoe	Otorrhoe (17) Chronische Otorrhoe (20)
Lagekontrolle Cochleaimplantat	Otorrhoe bei bestehendem CI (1) Cochleaimplantation (3) CI-Implantation (18) CI jetzt Schwindel (1) CI Wechsel (2)
Schallleitungsschwerhörigkeit	Schallleitungsschwerhörigkeit (14) Ehlers-Danlos-Syndrom, SLS links bis 40 dB (1) nasale Probleme und Hörminderung (2) Hörminderung (6) Kombinierte Schwerhörigkeit (2)
Mastoiditis	Akute Mastoiditis (14) Akute Mastoiditis, Fazialisparese (1) Otorrhoe bei chronischer Mastoiditis (2)
Otitis media acuta	Akute Otitis media (11) Akute Otitis media und Hörminderung (2)
Fehlbildung Ohr	Fehlbildung Ohr (9) V.a. erweiterten Ductus cochleae (2) Otosklerose/Mittelohrdysplasie (1)
Innenohrschwerhörigkeit	Innenohrschwerhörigkeit (4) Innenohrschwerhörigkeit vor CI (3) Angeborene IOS (2)
Otitis media chronica mesotympanalis	Chronische Otitis media (5) Chronische Otitiden (2) Adhäsivprozess (1)
Raumforderung Gehörgang	Gehörgangspolyp (1) Gehörgangsstenose (1) Raumforderung Gehörgang (5)
Unklare Otalgie	Chronische Otalgie (5) Otalgie (1)
Z.n. Trauma (Ohr)	Z.n. Schlag auf Ohr (2) Gehörknöchelchenluxation nach Drucktrauma (1) Ossikelluxation nach Trauma (1)

Postoperative Kontrolle	Zn. Tympanoplastik (1)
	Zn. mehrfacher Tympanoplastik (1)
	Hörminderung nach Tympanoplastik (1)
Unklarer Schwindel	Drehschwindelattacken, Cephalgie (2)
Raumforderung Ohr	Druckdolente Raumforderung am Ohr (1)

Tabelle 1: Indikationen Laterobasis mit Unterindikationen sowie in Klammern die Häufigkeit der jeweiligen Diagnose

Frontobasis	
Zusammengefasste Indikationen	Unterindikationen (Anzahl)
Vd. Mittelgesichtsfraktur	Vd. Mittelgesichtsfraktur (206)
Nasenatmungsbehinderung	Nasenatmungsbehinderung (48)
Rhinosinusitis	Akute Sinusitis (28)
	Chronische Sinusitis (11)
	Sinusitis bei Neuroblastom (1)
	Mukoviszidose-chronische Sinusitis (1)
Persistierende Cephalgien	Cephalgie (10)
	Frontale Cephalgie (9)
	Druckgefühl Siebbein/Stirnhöhle (1)
Persistierende Rhinorrhoe	Rhinorrhoe (8)
Raumforderung NNH	Vd. NNH-Polyp (1)
	Z.n. Polypentfernung (1)
	Fibrom des Nasopharynx (1)
	Vd. Choanalpolyprezidiv (1)
	Vd. Rezidiv Kieferhöhlenpapillom (1)
	Kieferhöhlenzyste (1)
Fokussuche	Fokussuche (5)
Tränenwegsstenose	Tränenwegsstenose (3)
Ausschluss sinuogener Fokus	Schwellung Stirn (1)
	Schwellung Stirn bei Belastung (1)
Epithesenverankerung geplant	Epithesenverankerung geplant (2)

Tabelle 2: Indikationen Frontobasis mit Unterindikationen

Sonstige Region	
Zusammengefasste Indikationen	Unterindikationen
Vd. Fremdkörper im Hals	Vd. Fremdkörper im Hals (1)

Tabelle 3: Indikation sonstige Region

3.3.3 Statistische Auswertung der Daten

Die Datenerfassung erfolgte mittels Microsoft Excel for Mac 2011. Zur anschließenden computergestützten Datenauswertung wurde neben Excel auch die Statistik-Software SPSS der Version 17.0 angewandt.

Mittels SPSS wurden die Häufigkeitsverteilungen diverser Parameter bestimmt. Anschließend folgte die deskriptive Statistik der einzelnen technischen Parameter (Röhrenspannung, Röhrenstrom, Expositionszeit, CTDI, Schichtdicke und Schichtintervall) unter Aufteilung auf die verschiedenen Regionen (NNH, Felsenbein und Sonstiges) sowie in die Altersgruppen in Jahren (von 0-18 Jahren). Außerdem wurde der T-Test für unabhängige Variablen, ein Test der vergleichenden Statistik, durchgeführt. Mit dem T-Test sollte berechnet werden, ob ein tatsächlicher Unterschied zwischen Mittelwerten diverser Parameter in 2 unterschiedlichen Gruppen wie beispielsweise des Geschlechts besteht. Hierbei wurde ein Konfidenzintervall von 95% angenommen. Zusätzlich wurden ebenfalls mittels SPSS Korrelationen zwischen verschiedenen Parametern ermittelt wie beispielsweise, ob eine Korrelation zwischen der Region und der jeweiligen technischen Parameter besteht. Im Falle der mehrfachen Untergruppierung wurde eine entsprechende Bonferroni Korrektur durchgeführt.

Im Nachhinein wurde auch der Grund für unmittelbare Wiederholungsaufnahmen ermittelt. Dazu wurden sämtliche betreffende Aufnahmen gemeinsam mit dem Betreuer der Arbeit reevaluiert. Hierbei wurde dann zwischen primär verwackeltem Bild, technischen Problemen bei der Aufnahme oder einer inkompletten Aufnahme (z.B. falsches Untersuchungsvolumen) unterschieden. Auch die letztendliche Diagnose nach einer zusätzlichen Bildgebung wurde für die entsprechenden Fälle mit der Diagnose nach dem vorherigen DVT verglichen, um die Limitationen der DVT weiter herauszuarbeiten.

4. Ergebnisse

Zunächst sollen die Ergebnisse bezogen auf das Gesamtkollektiv dargestellt werden. Im Anschluss werden die Ergebnisse bezogen auf die zwei Hauptregionen (Nase/Nasennebenhöhlen, Felsenbein) vergleichend analysiert und detailliert beschrieben.

4.1 Ergebnisse auf Gesamtkollektiv bezogen

Es ergab sich bei der Analyse der Indikationen für eine DVT-Untersuchung innerhalb der HNO für den Zeitraum 2004 bis 2013 im Alter von 0-18 Jahren ein Patientenkollektiv von insgesamt 554 Patienten. Hierunter waren 206 Patienten (37,2%) weiblich und 348 (62,8%) männlich. Der Altersdurchschnitt des Gesamtkollektivs betrug 10,36 Jahre, die Altersverteilung ist Abbildung 3 zu entnehmen. In fast allen Altersgruppen ist die Bildgebung bei männlichen Patienten häufiger als bei weiblichen Patienten, wobei die geschlechtsabhängige Altersverteilung gleich ist (Abbildung 4).

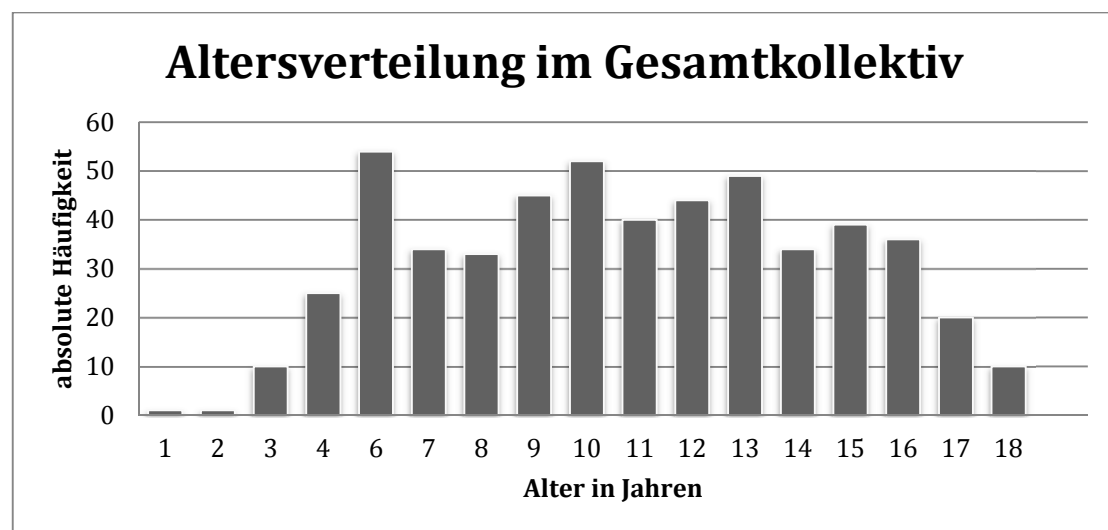


Abbildung 3: Altersverteilung im Gesamtkollektiv

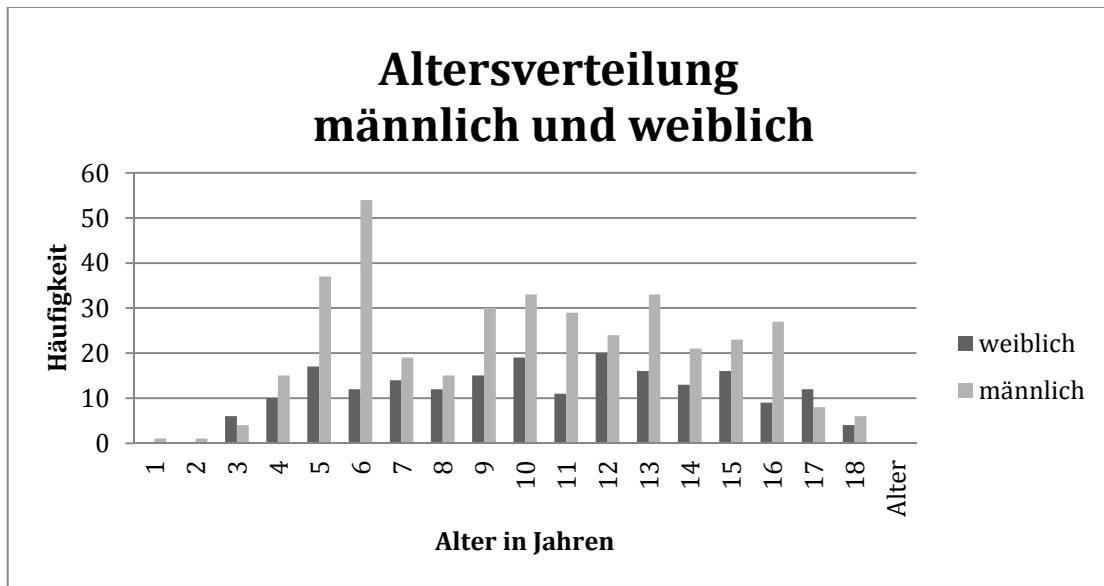


Abbildung 4: Altersverteilung nach Geschlecht

Die Anzahl der Aufnahmen verteilt auf die unterschiedlichen Jahre von 2004 bis 2013 ist in Abbildung 5 ersichtlich, wobei das Jahr 2013 nur bis zum 03.06. erfasst wurde.

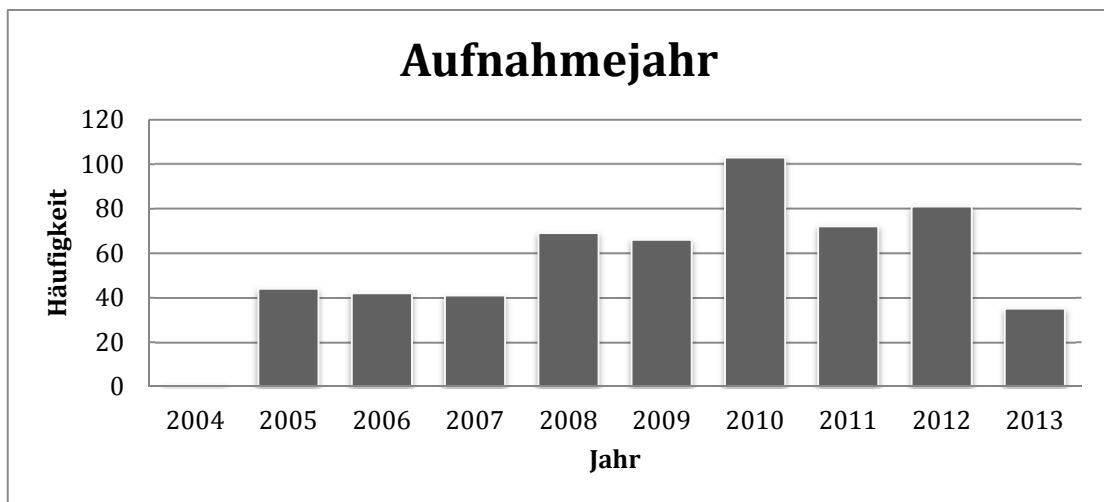


Abbildung 5: absolute Häufigkeiten nach Aufnahmejahr

Es wurden 341 (61,6%) Aufnahmen der Nasennebenhöhlenregion und 212 (38,3%) Aufnahmen des Felsenbeins sowie eine Aufnahme (0,2%) ‚sonstiger Regionen‘ angefertigt (Abbildung 6).

Häufigkeitsverteilung der Aufnahme­regionen (%)



Abbildung 6: relative Häufigkeit nach Region

Bei insgesamt 180 Aufnahmen wurde der 180° Modus gewählt und 373 Aufnahmen erfolgten im 360° Modus. In 150 Fällen (27,08%) wurde eine Scout-Aufnahme der eigentlichen Bildgebung mittels DVT vorangestellt. Bei 27 (4,87%) Patienten musste im Anschluss an die ursprüngliche Bildgebung eine Wiederholung mittels DVT durchgeführt werden. Die Wiederholungen waren in 18 Fällen (66,67%) in einer Verwacklung der ursprünglichen Aufnahme begründet und in 9 Fällen (33,33%) durch die inkomplette Darstellung der Region of interest (ROI), wobei nur bei einem dieser 9 Patienten zuvor eine Scout Aufnahme angefertigt wurde. Bei 3 der 9 inkompletten Darstellungen wurde vor der Wiederholungsbildgebung eine Scout-Aufnahme angefertigt. Bei weiteren 9 Patienten des Gesamtkollektives (1,62%) wurde eine weitere Bildgebung angewandt um die Diagnose zu stellen. Die detaillierte Übersicht der einzelnen Parameter mit Unterteilung in die einzelnen Regionen wird in den folgenden Kapiteln wiedergegeben.

Durch die computergestützte Analyse der rechtfertigenden Indikationen des Gesamtkollektives ergaben sich insgesamt 26 verschiedene Indikationen. Diese sind nach der absoluten Häufigkeit geordnet Tabelle 4 zu entnehmen.

Indikation	Häufigkeit (absolut)	Häufigkeit (relativ)
Vd. Mittelgesichtsfraktur	206	37,18
Nasenatmungsbehinderung	48	8,66
Otitis media chronica epitympanalis	43	7,76
Rhinosinusitis	41	7,40
Otorrhoe	37	6,68
Lagekontrolle Cochleaimplantat	25	4,51
Schallleitungsschwerhörigkeit	25	4,51
Persistierende Cephalgien	20	3,61
Mastoiditis	17	3,07
Otitis media acuta	13	2,35
Fehlbildung Ohr	12	2,17
Innenohrschwerhörigkeit	9	1,62
Otitis media chronica mesotympanalis	8	1,44
Persistierende Rhinorrhoe	8	1,44
Raumforderung Gehörgang	7	1,26
unklare Otalgie	6	1,08
Raumforderung NNH	6	1,08
Fokussuche	5	0,90
Z.n. Trauma (Ohr)	4	0,72
Tränenwegsstenose	3	0,54
Postoperative Kontrolle	3	0,54
Ausschluss sinugener Fokus	2	0,36
Epithesenverankerung geplant	2	0,36
unklarer Schwindel	2	0,36
Raumforderung Ohr	1	0,18
Vd. Fremdkörper im Hals	1	0,18

Tabelle 4: Indikationen des Gesamtkollektives mit absoluter und relativer Häufigkeit

Zugunsten einer besseren Übersichtlichkeit erfolgt im weiteren Verlauf eine Unterteilung in die Regionen Felsenbein und NNH. Hier sollen jeweils die technischen Daten und die zugrundeliegenden Indikationen näher erläutert werden und im Anschluss diskutiert werden. Des Weiteren werden die Ergebnisse des Falles ‚sonstige Region‘ einzeln betrachtet und im Anschluss diskutiert.

4.2 Verteilung des Patientenkollektives auf Region bezogen

4.2.1 Felsenbein/Laterobasis

Wie bereits erwähnt, erhielten 212 Patienten (38,3% des Gesamtkollektivs) eine Darstellung der Felsenbeinregion mittels DVT. Die Geschlechterverteilung war ähnlich wie die des Gesamtkollektivs, auch hier waren Bildgebungen bei männlichen Patienten (n=139, 65,6%) häufiger als bei weiblichen Patienten (n=73, 34,4%). Das Durchschnittsalter bei den Aufnahmen der Felsenbeinregion lag bei 8,87 Jahren. Die Altersverteilung ist in Abbildung 7 zu sehen.

4.2.2 Nasennebenhöhlen/Frontobasis

Es wurden insgesamt 341 Aufnahmen (61,56% des Gesamtkollektivs) der Nasennebenhöhlenregion mittels DVT angefertigt. Auch hier zeigte sich eine ähnliche Geschlechtsverteilung mit 208 (61%) Aufnahmen bei männlichen Patienten und 133 (39%) bei weiblichen Patienten. Das Durchschnittsalter lag mit 11,28 Jahren höher als das der Felsenbeinregion. Die Altersaufteilung ist in Abbildung 7 zu sehen.

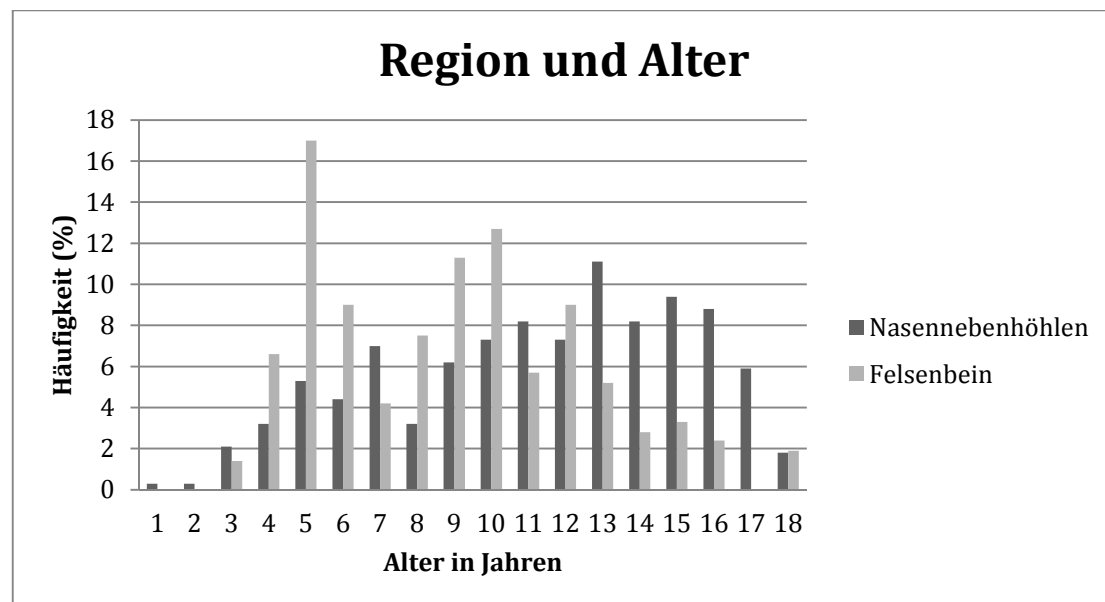


Abbildung 7: relative Häufigkeit nach Alter und Region

4.3 Technische Parameter

4.3.1 Rotationswinkel

Bezüglich des Rotationswinkels zeigen sich bei Unterteilung in die Regionen Frontobasis und Laterobasis Unterschiede. Die Einstellung der 180°-Rotation wurde bei 8% (n=17) der Felsenbein-Aufnahmen und bei 47,8% (n=163) der NNH-Aufnahmen gewählt. Während die 360°-Einstellung bei 92% (n= 195) der Felsenbein-Aufnahmen und bei 52,2% (n=178) der NNH-Aufnahmen gewählt wurde.

Betrachtet man die Einstellung des Rotationswinkel in den verschiedenen Altersgruppen, so fällt auf, dass die 180°-Einstellung besonders bei Kleinkindern oder im späten Adoleszentenalter gewählt wurde (erster Peak bei 1-3 jährigen und zweiter Peak bei 16-18 jährigen Patienten). Die 360°-Rotation wurde vorwiegend im Schul- und frühen Adoleszentenalter gewählt (4-15 jährige Patienten).

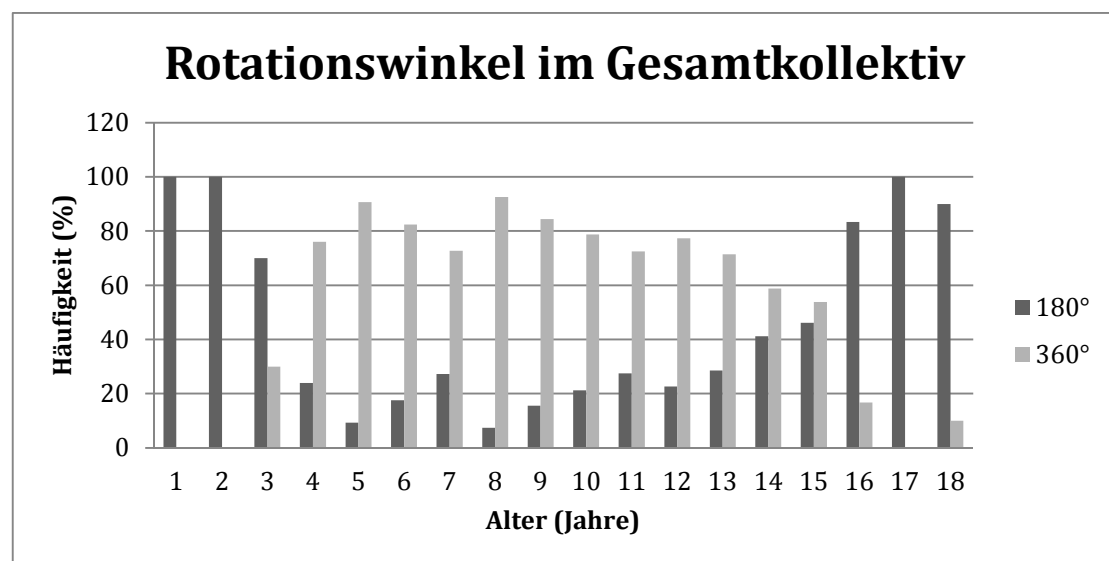


Abbildung 8: relative Häufigkeit der Rotationswinkel (180° oder 360°) nach Alter (in Jahren) im Gesamtkollektiv

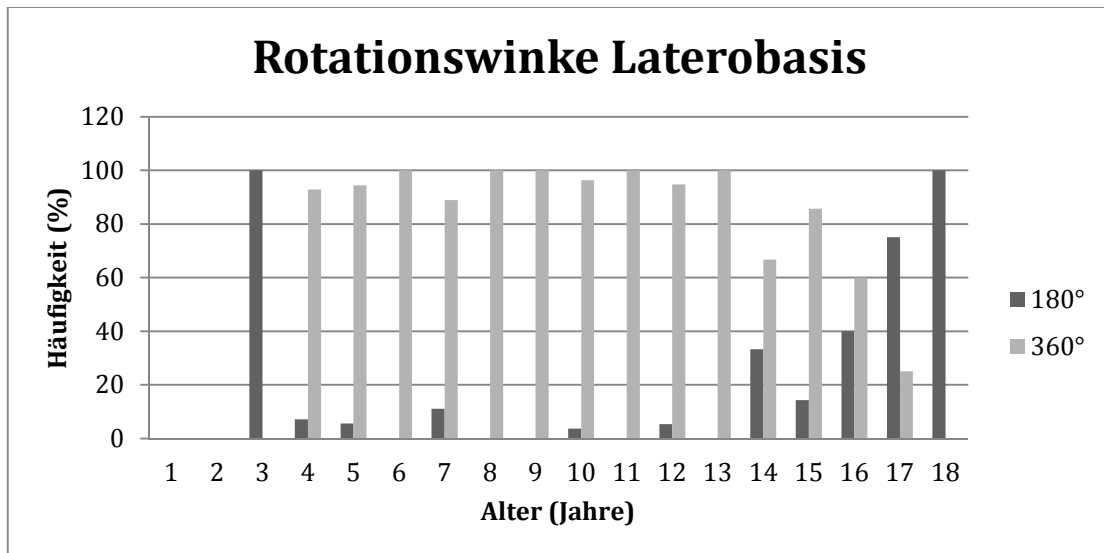


Abbildung 9: relative Häufigkeit der Rotationswinkel (180° oder 360°) nach Alter (in Jahren) bei der Laterobasis-Bildgebung

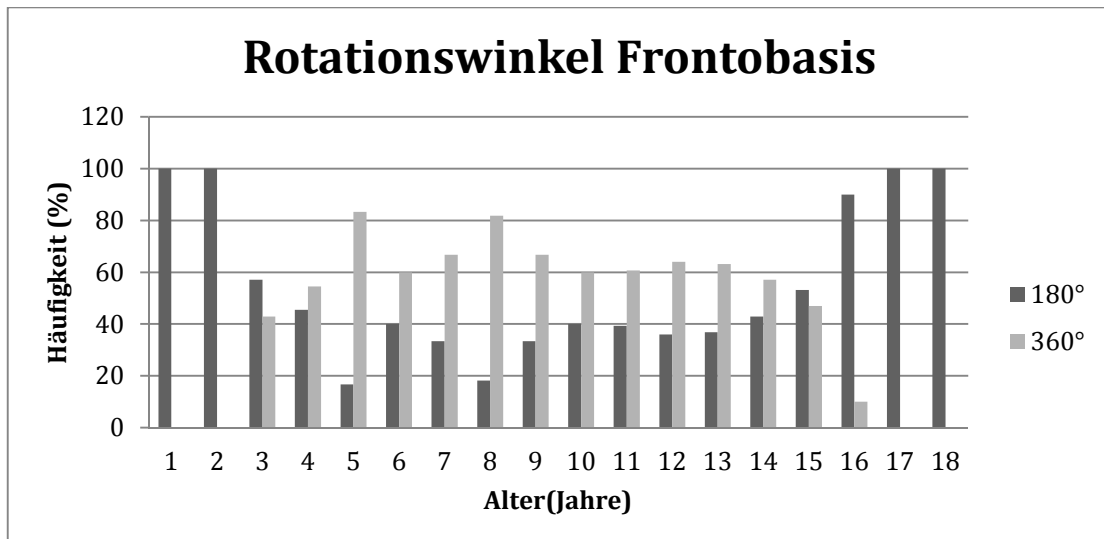


Abbildung 10: relative Häufigkeit der Rotationswinkel (180° oder 360°) nach Alter (in Jahren) bei der Frontobasis-Bildgebung

3.3.2 Zylinderdurchmesser und Zylinderhöhe (FOV)

Das Field of view setzt sich aus den beiden Größen des Zylinderdurchmessers und der Zylinderhöhe zusammen. Je nach Gerät gibt es feste Kombinationen der Zylinderhöhe und des Zylinderdurchmessers, welche je nach Indikation und der zu untersuchenden Region gewählt werden können. Mögliche Kombinationen (FOV's) sind: 4x4cm, 6x6cm, 8x8cm, 10x10cm, 14x10cm und 17x12cm.

Tabelle 5 zeigt die absoluten und relativen Häufigkeiten der verschiedenen FOV-Einstellungen in der jeweiligen Region.

In 95,3% der Felsenbein-Darstellungen wurde ein FOV von 6x6cm gewählt.

Andere FOV-Einstellungen wurden nur zu einem kleinen Teil genutzt. Tabelle 6 zeigt eine weitere Unterteilung in die Altersgruppen, auch hier zeigte sich, dass in allen Altersgruppen ein FOV von 6x6cm die häufigste Einstellung war.

In der Nasennebenhöhlenregion wurde mit 45,5% am häufigsten ein FOV von 10x10cm angewandt, gefolgt von einem FOV von 6x6cm (22,8%) und 10x14cm (18,2%). Tabelle 7 zeigt die Häufigkeiten der einzelnen FOV's in den verschiedenen Altersgruppen bei NNH-Bildgebungen.

	4x4cm	6x6cm	8x8cm	10x10 cm	14x10cm	17x12 cm
Felsen-	1	202	5	3	0	1
bein	(0,5%)	(95,3%)	(2,4%)	(1,4%)	(0%)	(0,5%)
n=212						
NNH	22	78	20	155	62	4
n=341	(6,5%)	(22,9%)	(5,9%)	(45,5%)	(18,2%)	(1,2%)

Tabelle 5: Häufigkeiten (absolut und relativ) der gewählten FOV nach Region

Laterobasis	4x4cm	6x6cm	8x8cm	10x10cm	17x12cm
Alter (Jahren)					
1 (n=0)					
2 (n=0)					
3 (n=3)		3 (100%)			
4 (n=14)	1 (7,1%)	13 (92,9%)			
5 (n=36)		33 (91,7%)		3 (8,3%)	
6 (n=19)		19 (100%)			
7 (n=9)		8 (88,9%)	1 (11,1%)		
8 (n=16)		16 (100%)			
9 (n=24)		24 (100%)			
10 (n=27)		25 (92,6%)	1 (3,7%)		1 (3,7%)
11 (n=12)		12 (100%)			
12 (n=19)		18 (94,7%)	1 (5,3%)		
13 (n=11)		11 (100%)			
14 (n=6)		4 (66,7%)	2 (33,3%)		
15 (n=7)		7 (100%)			
16 (n=5)		5 (100%)			
17 (n=0)					
18 (n=4)		4 (100%)			

Tabelle 6: Häufigkeiten (absolut und relativ) der gewählten FOV bei Laterobasis-Bildgebungen nach Altersgruppen (in Jahren)

Frontobasis Alter (Jahre)	4x4cm	6x6cm	8x8cm	10x10cm	14x10cm	17x12cm
1 (n=1)		1 (100%)				
2 (n=1)			1 (100%)			
3 (n=7)	2 (28,6%)	3 (42,9%)	1 (14,3%)	1 (14,3%)		
4 (n=11)		3 (27,3%)	1 (9,1%)	7 (63,6%)		
5 (n=18)	1 (5,6%)	11 (61,1%)	4 (22,2%)	1 (5,6%)		1 (5,6%)
6 (n=15)	3 (20%)	3 (20%)	2 (13,3%)	7 (46,7%)		
7 (n=24)	1 (4,2%)	11 (45,8%)	2 (8,3%)	9 (37,5%)		1 (4,2%)
8 (n=11)		5 (45,5%)	6 (54,5%)			
9 (n=21)	3 (14,3%)	6 (28,6%)	2 (9,5%)	9 (42,9%)		1 (4,8%)
10 (n=25)	5 (20%)	7 (28%)	1 (4%)	12 (48%)		
11 (n=28)	2 (7,1%)	7 (25%)	2 (7,1%)	12 (42,9%)	4 (14,3%)	1 (3,6%)
12 (n=25)		8 (32%)		17 (68%)		
13 (n=38)	4 (10,5%)	7 (18,4%)	2 (5,3%)	16 (42,1%)	9 (23,7%)	
14 (n=28)	1 (3,6%)	3 (10,7%)		18 (64,3%)	6 (21,4%)	
15 (n=32)		3 (9,4%)	1 (3,1%)	21 (65,6%)	7 (21,9%)	
16 (n=30)			1 (3,3%)	12 (40%)	17 (56,7%)	
17 (n=20)				7 (35%)	13 (65%)	

18 (n=6)	6 (100%)
-----------------	-------------

Tabelle 7: Häufigkeiten (absolut und relativ) der gewählten FOV bei Frontobasis-Bildgebungen nach Altersgruppen (in Jahren)

4.3.3 Röhrenspannung

Der Mittelwert der Röhrenspannung im Felsenbein-Bereich mit 82,43kV unterscheidet sich signifikant von dem Mittelwert in der NNH-Region mit 85,06kV ($p=0,000$). Es besteht keine Korrelation hinsichtlich der Einstellung der Röhrenspannung und des Geschlechts des Patienten ($p=0,778$). Zwischen dem Alter des Patienten zum Aufnahmezeitpunkt und der eingestellten Röhrenspannung besteht eine Korrelation mit einem Signifikanzniveau von 99% in beiden Regionen (Felsenbein $p=0,000$; NNH $p=0,000$). Es erfolgte die Betrachtung der Mittelwerte im Gesamtkollektiv in den Altersgruppen sowie eine Aufteilung in die jeweilige Region und das Alter des Patienten zum Vergleich der Mittelwerte. In beiden Regionen und somit auch im Gesamtkollektiv wurde eine höhere Spannung mit steigendem Patientenalter ermittelt.

Region	Häufigkeit	Röhrenspannung Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	Maximum
Laterobasis	212	82,43 kV	3,39	75	90
Frontobasis	341	85,06 kV	3,46	70	90

Tabelle 8: Röhrenspannung (in kV) nach Aufnahme-region

Region	Korrelationskoeffizient	P-Wert
Laterobasis	0,295**	0,000
Frontobasis	0,306**	0,000

Tabelle 9: Korrelation zwischen Alter und Röhrenspannung nach Aufnahme-region (signifikant auf dem 0,01 Niveau)**

Alter (in Jahren)	Röhrenspannung (in kV)	Alter (in Jahren)	Röhrenspannung (in kV)
1	82	10	83,06 ($\pm 4,06$)
2	82	11	83,77 ($\pm 3,80$)
3	82,60 ($\pm 3,78$)	12	84,09 ($\pm 3,52$)
4	82,20 ($\pm 2,94$)	13	85,18 ($\pm 3,67$)
5	82,04 ($\pm 3,34$)	14	86,47 ($\pm 3,39$)
6	84,03 ($\pm 3,55$)	15	87,41 ($\pm 2,61$)
7	83,30 ($\pm 3,32$)	16	85,83 ($\pm 1,86$)
8	82,07 ($\pm 3,53$)	17	85,60 ($\pm 1,39$)
9	82,76 ($\pm 3,48$)	18	84,80 ($\pm 1,03$)

Tabelle 10: Röhrenspannung (in kV) in Altersgruppen im Gesamtkollektiv

Alter (in Jahren)	Röhren- spannung Laterobasis (in kV)	Röhren- spannung Frontobasis (in kV)	Alter (in Jahren)	Röhren- spannung Laterobasis (in kV)	Röhren- spannung Frontobasis (in kV)
1	-----	82	10	81,67 ($\pm 3,69$)	84,56 ($\pm 3,97$)
2	-----	82	11	81,33 ($\pm 3,23$)	84,82 ($\pm 3,58$)
3	81,33 ($\pm 2,31$)	83,14 ($\pm 4,30$)	12	82,32 ($\pm 2,60$)	85,44 ($\pm 3,57$)
4	81,29 ($\pm 2,89$)	83,36 ($\pm 2,69$)	13	84,09 ($\pm 4,30$)	85,50 ($\pm 3,46$)
5	82,11 ($\pm 2,74$)	81,89 ($\pm 4,38$)	14	85,33 ($\pm 4,50$)	86,71 ($\pm 3,15$)
6	82,95 ($\pm 3,36$)	85,40 ($\pm 3,42$)	15	88,29 ($\pm 3,72$)	87,22 ($\pm 2,34$)
7	82,00 ($\pm 3,00$)	83,79 ($\pm 3,36$)	16	86,00 ($\pm 1,41$)	85,93 ($\pm 1,84$)
8	80,25 ($\pm 0,68$)	84,73 ($\pm 4,31$)	17	-----	85,60 ($\pm 1,39$)
9	82,00 ($\pm 3,12$)	83,62 ($\pm 3,73$)	18	85,50 ($\pm 1,00$)	84,33 ($\pm 0,82$)

Tabelle 11: Röhrenspannung (in kV) nach Alter (in Jahren) und Region

4.3.4 Röhrenstrom

Bezüglich der Mittelwerte des Röhrenstroms, welcher bei der Felsenbeinregion bei 6,97mA und in der NNH-Region bei 4,79mA liegt, konnte ein Unterschied mit hoher Signifikanz ($p=0,000$) nachgewiesen werden. Es besteht außerdem eine Korrelation zwischen der Stromstärke bei der Bildgebung der NNH-Region und dem Alter ($p=0,000$), welche im Felsenbein-Bereich nicht feststellbar ist (Tabelle 14). Der Röhrenstrom der NNH-Bildgebung nimmt mit steigendem Alter ab

(Tabelle 15). Es besteht keine Korrelation zwischen dem Geschlecht des Patienten und der Stromstärke.

Region	Häufigkeit	Röhrenstrom Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	Maximum
Laterobasis	212	6,97 mA	1,40	3,00	8,00
Frontobasis	341	4,79 mA	1,40	2,00	8,00

Tabelle 12: Röhrenstrom (in mA) nach Aufnahme-region

Region	Röhrenstrom Mittelwert nach Geschlecht (mA)		T-Test Signifikanz/p-Wert (2-seitig)
Laterobasis	männlich	7,03 ($\pm 1,36$)	0,416
	weiblich	6,86 ($\pm 1,47$)	
Frontobasis	männlich	4,87 ($\pm 1,41$)	0,193
	weiblich	4,67 ($\pm 1,39$)	

Tabelle 13: Röhrenstrom (in mA) nach Region und Geschlecht

Region	Korrelationskoeffizient	P-Wert
Laterobasis	-0,010	0,887
Frontobasis	-0,269**	0,000

Tabelle 14: Korrelation zwischen Alter und Röhrenstrom nach Aufnahme-region (signifikant auf dem 0,01 Niveau)**

Alter (in Jahren)	Röhrenstrom Frontobasis (in mA)	Alter (in Jahren)	Röhrenstrom Frontobasis (in mA)
1 (n=1)	3,00	10 (n=25)	5,08 ($\pm 1,55$)
2 (n=1)	3,00	11 (n=28)	4,86 ($\pm 1,48$)
3 (n=7)	5,43 ($\pm 1,99$)	12 (n=25)	4,78 ($\pm 1,28$)
4 (n=11)	4,68 ($\pm 1,52$)	13 (n=38)	5,05 ($\pm 1,49$)
5 (n=18)	5,75 ($\pm 1,75$)	14 (n=28)	4,43 ($\pm 1,03$)
6 (n=15)	4,60 ($\pm 0,91$)	15 (n=32)	4,50 ($\pm 0,92$)
7 (n=24)	5,42 ($\pm 1,53$)	16 (n=30)	4,02 ($\pm 0,62$)
8 (n=11)	6,00 ($\pm 1,79$)	17 (n=20)	4,05 ($\pm 0,69$)
9 (n=21)	5,00 ($\pm 1,58$)	18 (n=6)	3,33 ($\pm 0,58$)

Tabelle 15: Röhrenstrom (in mA) nach Alter (in Jahren) für Frontobasis-Bildgebungen

Alter (in Jahren)	Röhrenstrom Laterobasis (in mA)	Alter (in Jahren)	Röhrenstrom Laterobasis (in mA)
1 (n=0)	-----	10 (n=27)	6,74 ($\pm 1,26$)
2 (n=0)	-----	11 (n=12)	7,17 ($\pm 1,59$)
3 (n=3)	7,67 ($\pm 0,58$)	12 (n=19)	7,32 ($\pm 0,95$)
4 (n=14)	6,79 ($\pm 1,31$)	13 (n=11)	7,00 ($\pm 1,55$)
5 (n=36)	6,78 ($\pm 1,53$)	14 (n=6)	7,00 ($\pm 1,55$)
6 (n=19)	6,89 ($\pm 1,66$)	15 (n=7)	5,00 ($\pm 1,91$)
7 (n=9)	7,22 ($\pm 0,97$)	16 (n=5)	7,40 ($\pm 1,34$)
8 (n=16)	7,59 ($\pm 0,88$)	17 (n=0)	-----
9 (n=24)	7,13 ($\pm 1,33$)	18 (n=4)	7,50 ($\pm 1,00$)

Tabelle 16: Röhrenstrom (in mA) nach Alter (in Jahren) für Laterobasis-Bildgebungen

4.3.5 Expositionszeit

Der Mittelwert der Expositionszeiten bezogen auf die jeweilige Region beträgt in der Felsenbeinregion 16,87 Sekunden ($\pm 2,50$) und in der NNH-Region 13,42 Sekunden ($\pm 4,24$) (Tabelle 17). Im Bereich der Laterobasis wurde mit 91,98% am häufigsten der 17,5-Sekunden-Modus der Expositionszeit gewählt, 7,55% der Aufnahmen wurden im 9-Sekunden-Modus aufgenommen und 0,47% im 30,5-Sekunden-Modus. Aufnahmen der Frontobasis wurden demgegenüber in 51,34% im 17,5-Sekunden-Modus und in 48,68% im 9-Sekunden-Modus gefahren. Der Unterschied der Mittelwerte der Expositionszeiten bezogen auf die Region ist signifikant mit einem Signifikanzniveau von 99% ($p=0,000$). Es besteht keine Korrelation zwischen der Expositionszeit der jeweiligen Region und dem Geschlecht des Patienten. Eine Korrelation zwischen der Expositionszeit bei Aufnahmen der NNH-Region und dem Alter des Patienten wurde mit einem Signifikanzniveau von 99% nachgewiesen ($p=0,000$), wobei die Expositionszeit hier mit steigendem Alter abfällt, im Felsenbein-Bereich besteht keine Korrelation (Tabelle 20).

Region	Häufigkeit	Expositionszeit Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	Maximum
Laterobasis	212	16,87 s	2,50	9,00	30,80
Frontobasis	341	13,42 s	4,24	9,00	17,50

Tabelle 17: Expositionszeit (in s) nach Aufnahmeregion (Mittelwerte)

Region	9-Sekunden	17,5-Sekunden	30,5-Sekunden
Laterobasis (n=212)	16 7,55%	195 91,98%	1 0,47%
Frontobasis (n=341)	166 48,68%	171 51,34%	0

Tabelle 18: Häufigkeit der Expositionszeiten nach Region

Region	Expositionszeit	Mittelwert nach Geschlecht (s)	T-Test Signifikanz/p-Wert (2-seitig)
Laterobasis	männlich	16,82 s ($\pm 2,30$)	0,647
	weiblich	16,98 s ($\pm 2,86$)	
Frontobasis	männlich	13,73 s ($\pm 4,22$)	0,094
	weiblich	12,94 s ($\pm 4,24$)	

Tabelle 19: Expositionszeit nach Region und Geschlecht

Region	Korrelationskoeffizient	P-Wert
Laterobasis	-0,097	0,158
Frontobasis	-0,287**	0,000

Tabelle 20: Korrelation zwischen Alter und Expositionszeit nach Aufnahme-Region (*signifikant auf dem 0,01 Niveau)

4.3.6 Computed Tomography Dose Index

Der Mittelwert des Computed Tomography Dose Index (CTDI) im Felsenbein-Bereich beträgt 6,01mGy mit einer Standardabweichung von 1,26mGy während der Mittelwert im NNH-Bereich bei 4,24mGy mit einer Standardabweichung von 1,92mGy liegt (Tabelle 21). Der Unterschied des CTDI-Mittelwertes bezogen auf die Regionen NNH und Felsenbein ist dabei hoch signifikant ($p=0,000$). Eine Korrelation zwischen CTDI im NNH-Bereich und dem Alter des Patienten konnte mit einem Signifikanzniveau von 99% nachgewiesen werden ($p=0,005$), während keine Korrelation zwischen dem CTDI im Felsenbein-Bereich und dem Alter besteht (Tabelle 23). Tabelle 25 zeigt die jeweiligen CTDI-Mittelwerte für die verschiedenen Altersgruppen bei der NNH-Bildgebung, diese sind in Abbildung 11 nochmals graphisch dargestellt. Demnach ist der CTDI und damit

die Strahlendosis besonders im Schul- und jungen Adoleszentenalter am höchsten, während er im Kleinkindesalter und späten Adoleszentenalter geringer ist. Bezüglich des Geschlechts und dem jeweiligen CTDI-Mittelwert gibt es keinen signifikanten Unterschied (Tabelle 22).

Region	Häufigkeit	CTDI Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	Maximum
Laterobasis	212	6,01 mGy	1,26	1,80	10,10
Frontobasis	341	4,24 mGy	1,92	1,40	11,20

Tabelle 21: CTDI (in mGy) nach Aufnahme-region

Region	CTDI Mittelwert nach Geschlecht (mGy)		T-Test Signifikanz/p-Wert (2- seitig)
Laterobasis	männlich	5,99mGy (\pm 1,30)	0,712
	weiblich	6,06mGy (\pm 1,19)	
Frontobasis	männlich	4,35mGy (\pm 1,89)	0,172
	weiblich	4,06mGy (\pm 1,95)	

Tabelle 22: CTDI (in mGy) nach Region und Geschlecht

Region	Korrelationskoeffizient	P-Wert
Laterobasis	0,067	0,329
Frontobasis	-0,153**	0,005

Tabelle 23: Korrelation zwischen Alter und CTDI nach Aufnahme-region (signifikant auf dem 0,01 Niveau)**

Alter (in Jahren)	CTDI (in mGy)	Alter (in Jahren)	CTDI (in mGy)
1	-----	10	5,89 ($\pm 0,99$)
2	-----	11	6,17 ($\pm 0,98$)
3	2,33 ($\pm 0,92$)	12	6,45 ($\pm 1,04$)
4	5,72 ($\pm 1,18$)	13	6,56 ($\pm 1,19$)
5	5,87 ($\pm 1,11$)	14	5,67 ($\pm 1,39$)
6	6,22 ($\pm 1,15$)	15	5,67 ($\pm 2,84$)
7	6,07 ($\pm 0,96$)	16	6,14 ($\pm 2,51$)
8	6,41 ($\pm 0,64$)	17	4,53 ($\pm 0,85$)
9	6,28 ($\pm 0,83$)	18	-----

Tabelle 24: CTDI (in mGy) nach Alter (in Jahren) für Laterobasis-Bildgebungen

Alter (in Jahren)	CTDI Frontobasis (in mGy)	Alter (in Jahren)	CTDI Frontobasis (in mGy)
1	1,40	10	4,14 ($\pm 1,79$)
2	1,60	11	4,46 ($\pm 2,03$)
3	2,90 ($\pm 1,32$)	12	4,39 ($\pm 1,65$)
4	4,01 ($\pm 2,29$)	13	4,73 ($\pm 1,85$)
5	5,22 ($\pm 2,54$)	14	4,43 ($\pm 1,80$)
6	4,15 ($\pm 1,72$)	15	4,48 ($\pm 2,05$)
7	4,85 ($\pm 1,89$)	16	3,09 ($\pm 1,18$)
8	5,90 ($\pm 2,16$)	17	2,83 ($\pm 0,53$)
9	4,33 ($\pm 1,80$)	18	2,37 ($\pm 0,42$)

Tabelle 25: CTDI (in mGy) nach Alter (in Jahren) für Frontobasis-Bildgebungen

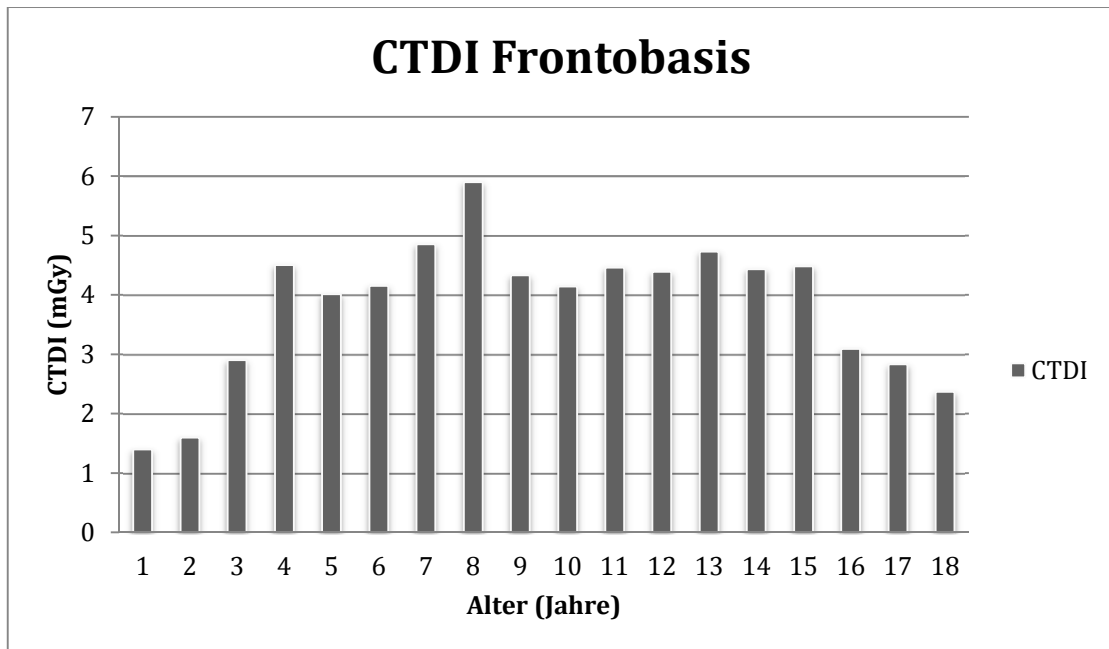


Abbildung 11: CTDI (in mGy) nach Alter (in Jahren) bei Frontobasis-Aufnahmen

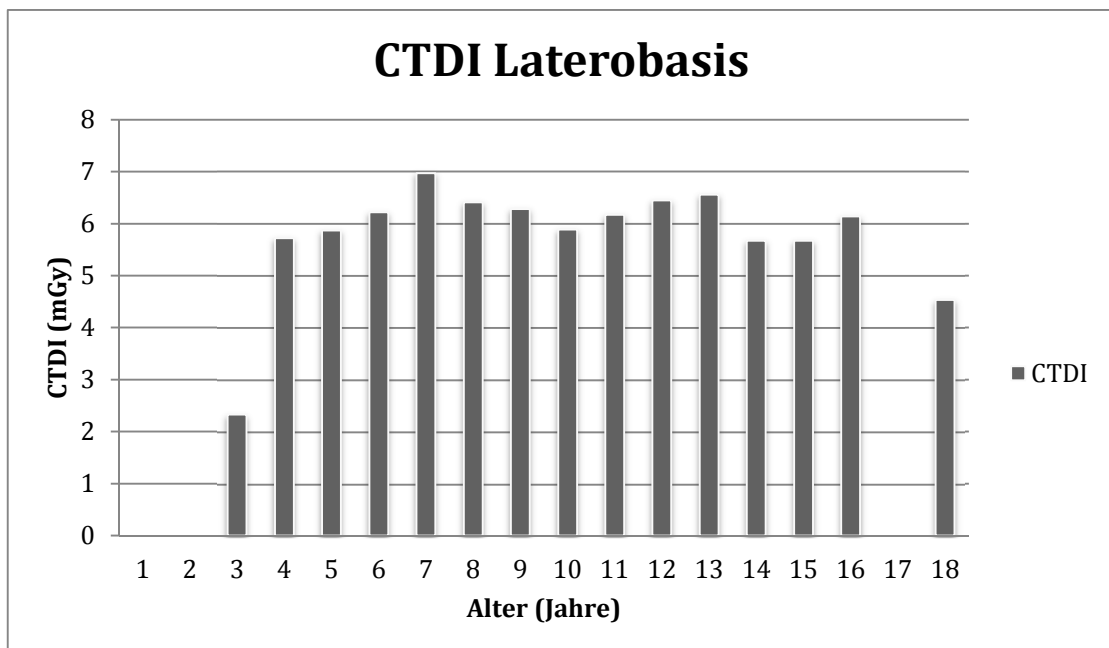


Abbildung 12: CTDI (in mGy) nach Alter (in Jahren) bei Laterobasis-Aufnahmen

4.3.7 Schichtdicke und Schichtintervall

In Tabelle 26 werden die Schichtdicke und der Schichtintervall der primären Rekonstruktion zur Bildbetrachtung für die Regionen Frontobasis und Laterobasis aufgelistet. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass sämtliche Aufnahmen mit einer Voxelgröße von 0,08mm durchgeführt worden sind.

	Region	Mittelwert (in mm)	Standard- abweichung	Minimum	Maximum
Schichtdicke	Laterobasis	0,96	0,10	0,13	1,20
	Frontobasis	1,09	0,14	0,50	1,20
Schichtintervall	Laterobasis	0,49	0,03	0,13	0,60
	Frontobasis	0,57	0,30	0,20	6,00

Tabelle 26: Schichtdicke (in cm) und Schichtintervall (in cm) nach Region

4.3.8 Scout-Aufnahme

In 17% (n=36) der Felsenbein-Aufnahmen und in 33,4% (n=114) der NNH-Aufnahmen wurde eine Scout Aufnahme der eigentlichen Bildgebung vorangestellt. Bei weiterer Unterteilung in das Geschlecht wurden bei Mädchen im NNH-Bereich 27,8% (n=37) und im Felsenbein-Bereich 21,9% (n=16) Scout-Aufnahmen durchgeführt. Während bei Jungen im NNH-Bereich mit 37% (n=77) mehr und im Felsenbein-Bereich mit 14,4% (n=20) weniger Scout-Aufnahmen im Vergleich zu Mädchen angefertigt wurden (Tabelle 27). Bei der Betrachtung der Anwendung von Scout-Aufnahmen nach Alter geordnet ist ersichtlich, dass mehr Scout-Aufnahmen mit steigendem Alter durchgeführt werden (Abbildung 13), so dass im Adoleszentenalter relativ mehr Scoutaufnahmen gefahren wurden als im Kindesalter. Abbildung 14 zeigt eine Aufschlüsselung der relativen Häufigkeit von Scoutaufnahmen nach Alter und Region. Hieraus wird deutlich, dass in beiden Regionen im Kleinkindalter am wenigsten Scoutaufnahmen angefertigt werden. Im Bereich der Laterobasis zeigte sich ein deutlicher Peak in den Altersgruppen 14-18 Jahren. Bei Darstellungen der Frontobasis ist dies nicht so stark ausgeprägt.

Region	Relative und absolute Häufigkeit für Scout-Aufnahmen	Geschlecht	
Laterobasis	17% (n=36)	männlich	14,4% (n=20)
		weiblich	21,9% (n=16)
Frontobasis	33,4% (n=114)	männlich	37% (n=77)
		weiblich	27,8% (n=37)

Tabelle 27: Häufigkeit (relativ/absolut) für Scout-Aufnahmen nach Region und Geschlecht

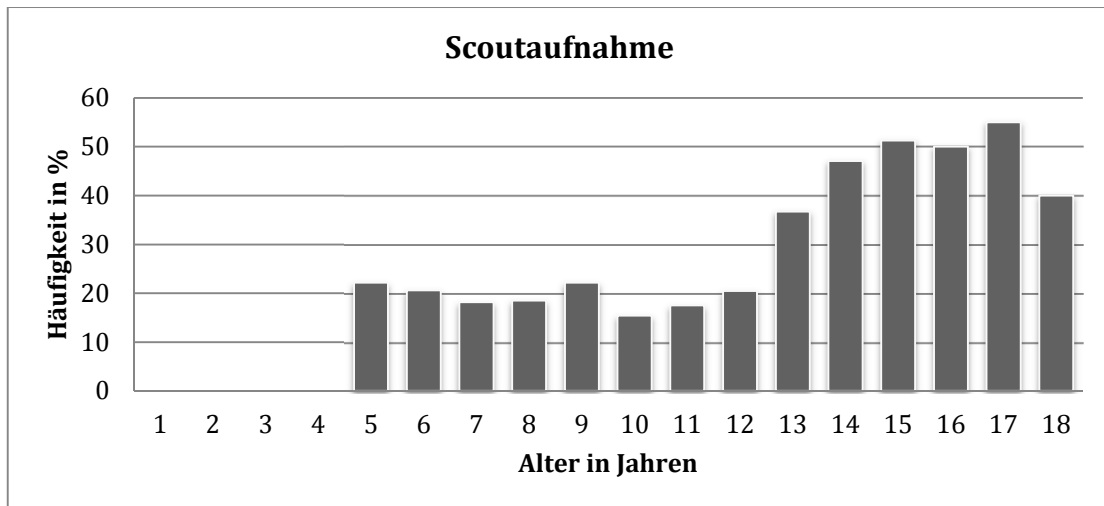


Abbildung 13: relative Häufigkeit der Scout-Aufnahmen nach Alter (in Jahren)

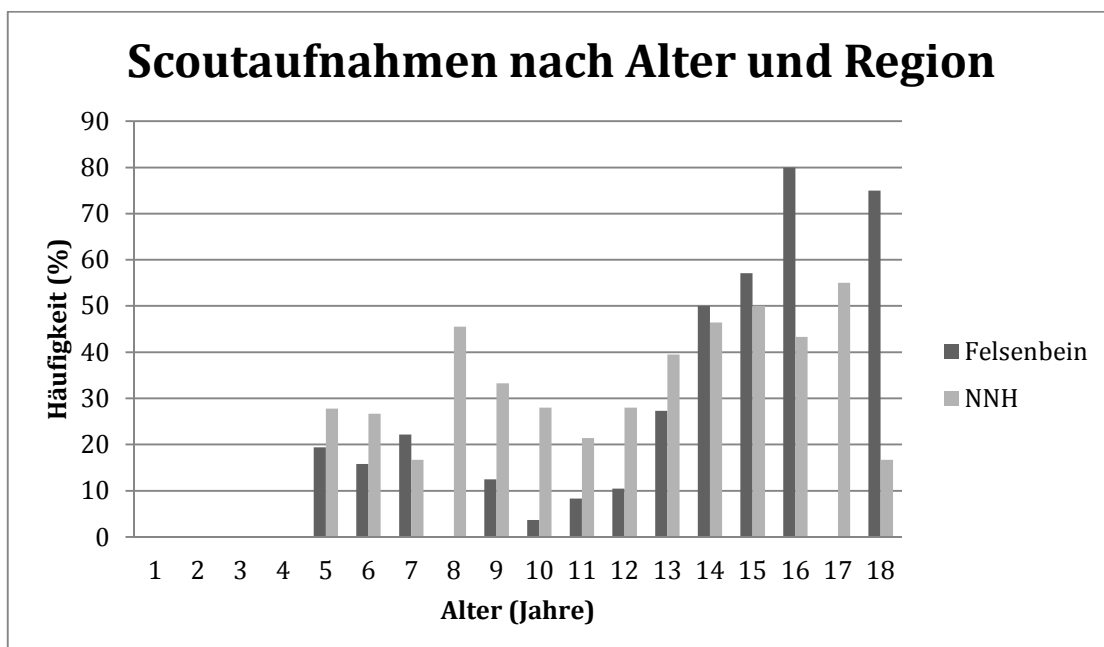


Abbildung 14: relative Häufigkeit der Scout-Aufnahmen nach Alter (in Jahren) und Region (in der Altersgruppe 1,2 und 17 liegen für den Bereich Laterobasis keine Daten vor)

4.3.9 Wiederholung

Im Bereich des Felsenbeins waren in 5,5% (n=11) Wiederholungsaufnahmen nötig während im NNH-Bereich nur bei 4,7% (n=16) eine Wiederholung durchgeführt wurde. Bezogen auf das Geschlecht mit Unterteilung in die Region ergab sich folgender Zusammenhang: Bei Mädchen waren im Bereich Felsenbein in 5,5% und im NNH-Bereich in 3% Wiederholungen nötig. Bei Jungen waren im Felsenbeinbereich in 5% und im NNH-Bereich in 5,8% Wiederholungen nötig

(Tabelle 28). Demnach wurden vor allem im NNH-Bereich deutlich mehr Wiederholungen bei Jungen als bei Mädchen durchgeführt.

Es konnte gezeigt werden, dass bei jüngeren Patienten mehr Wiederholungen gefahren wurden als bei älteren Patienten.

Hinsichtlich der technischen Einstellungsparameter (Röhrenspannung, Röhrenstrom, Expositionszeit und CTDI) bei gelungenen Aufnahmen und Aufnahmen, auf welche eine Wiederholung folgte, konnte kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden (Tabelle 29).

Bei der Analyse des Grundes für eine Wiederholung wurde zwischen verwackelten Aufnahmen und inkompletter Darstellung des Zielvolumens unterschieden. Es zeigte sich, dass in 66,67% ein Verwackeln des Bildes und in 33,33% eine inkomplette Darstellung der ROI der Grund für eine Wiederholung war. Tabelle 30 zeigt die weitere Unterteilung in die Regionen. Bei 42,86% (n=3) der inkompletten Aufnahmen im NNH-Bereich (n=7) wurde vor der eigentlichen Wiederholung eine Scout-Aufnahme angefertigt. Bei 14,29% (n=1) der inkompletten Aufnahmen der Frontobasis war trotz Scout-Aufnahme vor der primären Bildgebung eine Wiederholung notwendig. Das Durchschnittsalter bei zuvor verwackelten Aufnahmen ist mit 6,83 Jahren niedriger als das Durchschnittsalter bei inkompletten Aufnahmen mit 10,56 Jahren (Tabelle 30). Abbildung 16 verdeutlicht, dass die Anzahl der Wiederholungen in den Altersgruppen 3-7 Jahre in beiden Regionen am häufigsten ist.

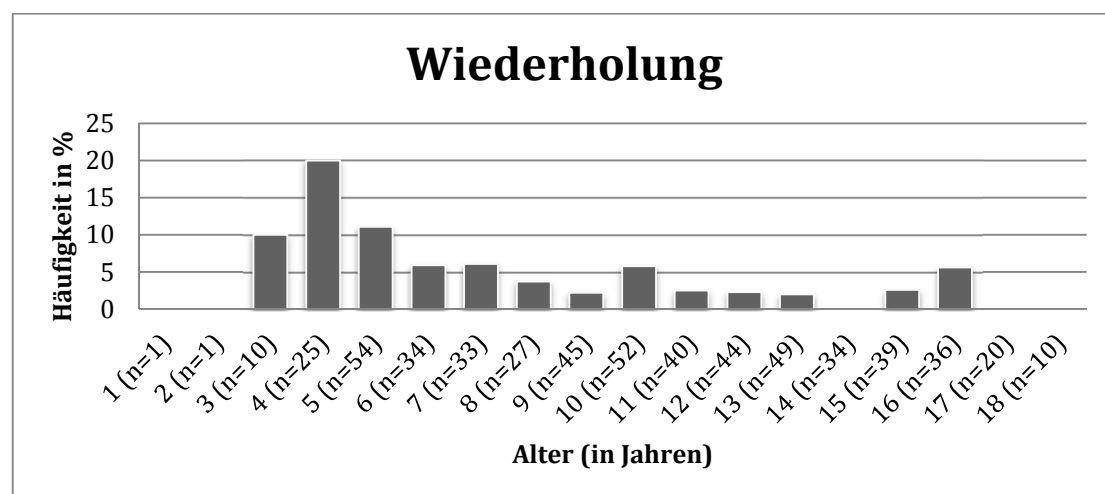


Abbildung 15: relative Häufigkeit der Wiederholungen nach Alter (in Jahren) (n= Gesamtanzahl der Untersuchungen der jeweiligen Altersgruppe)

Geschlecht	Häufigkeit Wiederholungen	Häufigkeit Wiederholungen
	Laterobasis (in %)	Frontobasis (in %)
weiblich	5,5 (n=4)	3 (n=4)
männlich	5,0 (n=7)	5,8 (n=12)
Gesamt	5,19 (n=11)	4,69 (n=16)

Tabelle 28: relative Häufigkeit der Wiederholungen nach Region und Geschlecht

	Wieder- holung	Mittelwert Laterobasis	p-Wert Laterobasis	Mittelwert Frontobasis	p-Wert Frontobasis
Röhren- spannung (in kV)	ja	80,73	0,001	84,88	0,861
	nein	82,53		85,07	
Röhren- Strom (in mA)	ja	7,27	0,468	5,44	0,058
	nein	6,96		4,76	
Expositions- Zeit (in s)	ja	16,73	0,842	15,27	0,062
	nein	16,88		13,33	
CTDI (in mGy)	ja	6,04	0,950	5,09	0,069
	nein	6,01		4,19	

Tabelle 29: Technische Einstellungsparameter (Mittelwerte) mit p-Werten für gelungene Aufnahmen und Aufnahmen mit nachfolgenden Wiederholungen

	Laterobasis (relativ/absolut)	Frontobasis (relativ/absolut)	Durchschnittsalter (in Jahren)
Verwackelte Aufnahme	80% (n=8)	58,82% (n=10)	6,83
Inkomplette Aufnahme	20% (n=2)	41,18% (n=7)	10,56

Tabelle 30: Wiederholungsgrund nach Region; Durchschnittsalter (in Jahren)

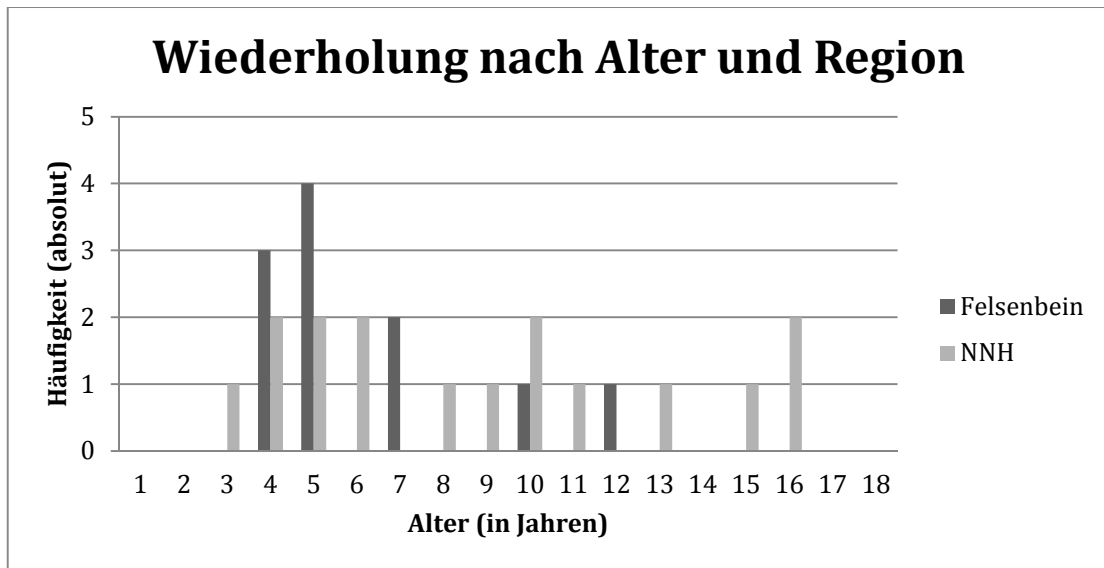


Abbildung 16: absolute Häufigkeit der Wiederholungen nach Alter (in Jahren) und Region (für die Altersgruppen 1,2 und 17 liegen für den Bereich der Laterobasis keine Daten vor)

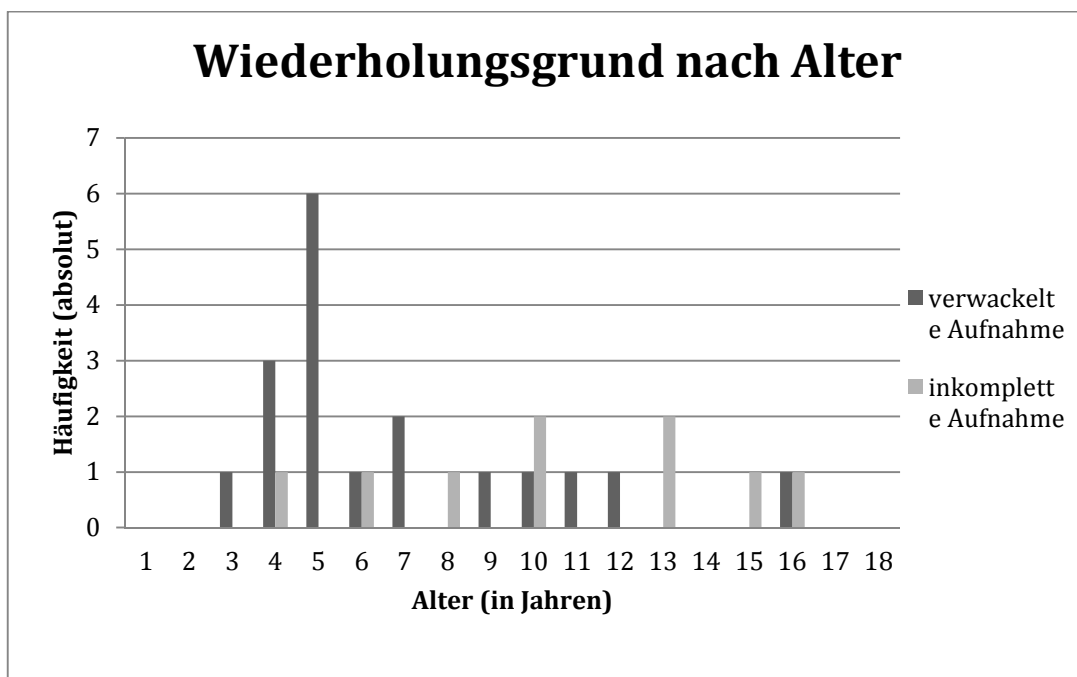


Abbildung 17: Häufigkeit (absolut) des Grundes für die Wiederholungsaufnahme (verwackelt/inkomplette Aufnahme) nach Alter (in Jahren)

4.3.10 Weitere Bildung

Insgesamt wurde in 1,63% (n=9) eine weitere Bildgebung durchgeführt um eine Verdachtsdiagnose zu verifizieren. Dabei war in 0,3% (n=1) von allen NNH-Aufnahmen und in 3,8% (n=8) der Felsenbeinaufnahmen eine weitere Bildgebung nötig. Es gab keinen signifikanten Unterschied bezüglich der

technischen Einstellungsparameter und der nötigen Durchführung einer weiteren Bildgebung. In dieser Studie waren vor allem im Jugendalter die meisten Indikationen für eine weitere Bildgebung gegeben (Abbildung 18). Bei Betrachtung des Geschlechts wurden bei Mädchen im NNH-Bereich in 0,3% (n=1) und im Felsenbeinbereich in 2,7% (n=2) weitere Bildgebungen durchgeführt (insgesamt von allen Mädchen in 1,46% (n=3)). Bei Jungen wurden hingegen keine anderen Bildgebungen im NNH-Bereich gefahren, aber im Felsenbeinbereich wurden in 4,3% (n=6) weitere Bildgebungen durchgeführt (insgesamt von allen Jungen in 1,73%).

Durch weitere Analyse der Diagnosen nach DVT im Vergleich mit der Diagnose nach der weiteren Bildgebung, konnte gezeigt werden, dass bei 66,67% (n=6) der weiteren Bildgebungen in beiden Regionen zusammen die vorherige Diagnose verifiziert wurde bzw. keine weiteren Informationen gewonnen werden konnten. In 33,33% (n=3) der weiteren Bildgebungen wurden weitere Informationen gewonnen oder eine andere Diagnose gestellt (Tabelle 31).

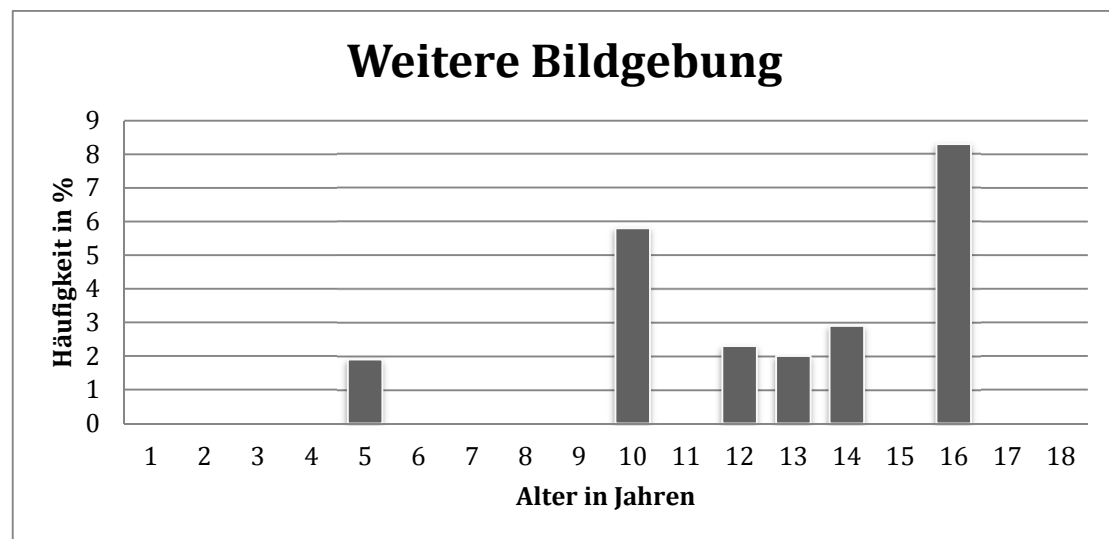


Abbildung 18: relative Häufigkeit weiterer Bildgebungen nach Alter (in Jahren) im Gesamtkollektiv

Alter	Geschlecht	Region rechtfertigende Indikation	Diagnose durch DVT	Diagnose durch weitere Bildgebung
5 Jahre*	männlich	Felsenbein Hörminderung	DVT nicht auswertbar	Auffällige Anatomie im Mittelohr
13 Jahre*	weiblich	Felsenbein Verdacht auf Gehörknöchelchenluxation nach Drucktrauma	Raumforderung imponierend als Fistel zwischen Carotis und Sinus	Keine pathologische Veränderung sichtbar (MRT)
14 Jahre*	weiblich	NNH Fokussuche	Keine pathologische Veränderung sichtbar	Verdacht auf intrakutanes Hämangiom der linken Wange (MRT)
10 Jahre	weiblich	Felsenbein Cholesteatomausschluss	Totalverlegung Mastoid, Epitympanon teilverschattet	Kein Nachweis eines Tumoreszidives, Sekretverhalt in den Mastoid- zellen (CT)
10 Jahre	männlich	Felsenbein V.a. erweiterten Ductus cochleae	Keine Pathologie	Keine Pathologie (MRT, CT)
10 Jahre	männlich	Felsenbein V.a. erweiterten Ductus cochleae	Keine Pathologie	Keine Pathologie (MRT, CT)
12 Jahre	männlich	Felsenbein Otosklerose/ Mittelohrdysplasie	Mittelohr regelrecht, Cochlea plump	Dysplasie Cochlea beidseits (MRT)
16 Jahre	männlich	Felsenbein Cholesteatom, Fazialisparese	Mastoid frei, Mittelohr verlegt	Keine Diff- Störung, keine Kontrastmittel- anreicherung im Fazialisverlauf (MRT)

16 Jahre	männlich	Felsenbein Akute Mastoiditis, Fazialisparese	Keine Pathologie	Keine Diff- Störung, keine Kontrastmittel- anreicherung im Fazialisverlauf (MRT)
16 Jahre	männlich	Sonstige Region Vd. auf Fremdkörper im Hals	Kein Fremdkörper	Kein Fremdkörper (Röntgen Hals)

Tabelle 31: Auflistung der Fälle mit weiterer Bildgebung (* weiterführende Informationen nach zusätzlicher Bildgebung)

4.4 Indikationen

In diesem Abschnitt erfolgt die Betrachtung der rechtfertigenden Indikationen für eine Bildgebung mittels DVT. Diese sollen auf die jeweilige Region bezogen erläutert werden. Demnach werden zunächst die Indikationen der Felsenbeinaufnahmen dargestellt und im Anschluss die Indikationen der NNH-Region erläutert.

4.4.1 Indikationen der Felsenbeinaufnahmen

Im Bereich des Felsenbeins wurden insgesamt 212 Scans gefahren. Durch die Analyse der rechtfertigenden Indikation der einzelnen Fälle und der oben beschriebenen Zusammenfassung verschiedener Indikationen, ergaben sich für diese Region insgesamt 15 verschiedene Indikationen. Tabelle 32 zeigt eine Auflistung der einzelnen Indikationen (geordnet nach Häufigkeit). Die Otitis media chronica epitympanalis war mit 20,3% (n=43) die häufigste Indikation gefolgt von unklarer chronischer Otorrhoe mit 17,5% (n=37), Lagekontrolle Cochleaimplantat und Abklärung einer Schallleitungsschwerhörigkeit mit je 11,8% (n=25). Es folgte anschließend eine Analyse bezüglich der Verteilung der Indikationen nach Geschlecht. Bei beiden Geschlechtern war die häufigste Diagnose die Otitis media chronica epitympanalis, in der nachfolgenden Rangfolge der Indikationen gab es leichte Unterschiede je nach Geschlecht (Tabelle 33).

Indikation Laterobasis	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit
Otitis media chronica epitympanalis	43	20,3%
Chronische Otorrhoe	37	17,5%
Lagekontrolle Cochleaimplantat	25	11,8%
Schallleitungsschwerhörigkeit	25	11,8%
Mastoiditis	17	8,0%
Otitis media acuta	13	6,1%
Fehlbildung Ohr	12	5,7%
Innenohrschwerhörigkeit	9	4,2%
Otitis media chronica mesotympanalis	8	3,8%
Raumforderung Gehörgang	7	3,3%
Unklare Otalgie	6	2,8%
Z.n. Trauma (Ohr)	4	1,9%
Postoperative Kontrolle	3	1,4%
Unklarer Schwindel	2	0,9%
Raumforderung Ohr	1	0,5%
	212	100%

Tabelle 32: Indikationen der Laterobasis geordnet nach absoluter und relativer Häufigkeit

Häufigkeit (abs./rel.)	Indikationen Laterobasis (weiblich)	Indikationen Laterobasis (männlich)	Häufigkeit (abs./rel.)
12 16,4%	Otitis media chronica epitympanalis	Otitis media chronica epitympanalis	31 22,3%
11 15,1%	Lagekontrolle Cochleaimplantat	Chronische Otorrhoe	28 20,1%
10 13,7%	Schallleitungsschwerhörigkeit	Schallleitungsschwerhörigkeit	15 10,8%
9 12,3%	Chronische Otorrhoe	Lagekontrolle Cochleaimplantat	14 10,1%
7 9,6%	Fehlbildung Ohr	Mastoiditis	11 7,9%
6 8,2%	Mastoiditis	Otitis media acuta	7 5,0%
6 8,2%	Otitis media acuta	Otitis media chronica mesotympanalis	7 5,0%
4 5,5%	Innenohrschwerhörigkeit	Unklare Otalgie	6 4,3%
3 4,1%	Raumforderung Gehörgang	Fehlbildung Ohr	5 3,6%
2 2,7%	Unklarer Schwindel	Innenohrschwerhörigkeit	5 3,6%
1 1,4%	Otitis media chronica mesotympanalis	Raumforderung Gehörgang	4 2,9%
1 1,4%	Raumforderung Ohr	Postoperative Kontrolle	3 2,2%
1 1,4%	Z.n. Trauma (Ohr)	Z.n. Trauma (Ohr)	3 2,2%
73 100%			139 100%

Tabelle 33: Indikationen der Laterobasis nach Geschlecht geordnet nach absoluter und relativer Häufigkeit

4.4.2 Indikationen der NNH-Aufnahmen

In der NNH-Region wurden insgesamt 341 Scans gefahren. Durch Analyse der jeweiligen Indikation und anschließender Zusammenfassung einzelner Indikationen in Gruppen gleicher Krankheitsbilder, ergaben sich 10 verschiedene rechtfertigende Indikationen für die NNH-Region. Mit 60,4% war der Verdacht auf eine Mittelgesichtsfraktur die häufigste rechtfertigende Indikation, gefolgt von Nasenatmungsbehinderung mit 14,1% und chronischer Rhinosinusitis mit 12%. Tabelle 34 zeigt die Rangfolge aller 10 Indikationen mit der jeweiligen absoluten und relativen Häufigkeit. Es erfolgte daraufhin eine Unterteilung der Indikationen nach Geschlecht und Region (siehe Tabelle 35). Bei beiden Geschlechtern war der Verdacht auf eine Mittelgesichtsfraktur die häufigste Indikation (weiblich 60,4%/männlich 69,2%). Bezüglich der

nachfolgenden Häufigkeitsverteilung verschiedener Indikationen gab es je nach Geschlecht leichte Unterschiede.

Indikation Frontobasis	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit
Vd. Mittelgesichtsfraktur	206	60,4%
Nasenatmungsbehinderung	48	14,1%
Chronische Rhinosinusitis	41	12%
Persistierende Cephalgien	20	5,9%
Persistierende Rhinorrhoe	8	2,3%
Raumforderung NNH	6	1,8%
Fokussuche	5	1,5%
Tränenwegsstenose	3	0,9%
Ausschluss sinugener Fokus	2	0,6%
Epithesenverankerung geplant	2	0,6%
	341	100%

Tabelle 34: Indikationen der Frontobasis geordnet nach absoluter und relativer Häufigkeit

Häufigkeit (abs./rel.)	Indikationen (weiblich)	Indikationen (männlich)	Häufigkeit (abs./rel.)
62 46,6%	Vd. Mittelgesichtsfraktur	Vd. Mittelgesichtsfraktur	144 69,2%
26 19,5%	Nasenatmungsbehinderung	Rhinosinusitis	23 11,1%
18 13,5%	Rhinosinusitis	Nasenatmungsbehinderung	22 10,6%
12 9%	Persistierende Cephalgien	Persistierende Cephalgien	8 3,8%
3 2,3%	Fokussuche	Persistierende Rhinorrhoe	6 2,9%
3 2,3%	Raumforderung NNH	Raumforderung NNH	3 1,4%
3 2,3%	Tränenwegsstenose	Fokussuche	2 1%
2 1,5%	Ausschluss sinugener Fokus	Ausschluss sinugener Fokus	0 0%
2 1,5%	Epithesenverankerung geplant	Epithesenverankerung geplant	0 0%
2 1,5%	Persistierende Rhinorrhoe	Tränenwegsstenose	0 0%
133 100%			208 100%

Tabelle 35: Indikationen der Frontobasis nach Geschlecht geordnet nach absoluter und relativer Häufigkeit

4.4.3 Altersabhängige Indikationen

Tabelle 36 stellt die Indikationsrangfolge aufgeteilt in die Altersgruppen dar. In jeder Altersgruppe ist die häufigste rechtfertigende Indikation der Verdacht auf eine Mittelgesichtsfraktur. Die nachfolgenden Indikationen sind in allen Altersgruppen verschieden.

Die häufigste Indikation im Gesamtkollektiv für eine DVT-Bildgebung ist mit 37,25% der Verdacht auf eine Mittelgesichtsfraktur, gefolgt von Nasenatmungsbehinderung mit 8,68% und Otitis media chronica epitympanalis mit 7,78%.

Alter in Jahren	Indikationen mit mind. 5% Häufigkeit in jeweiliger Altersgruppe	Häufigkeit absolut	Häufigkeit relativ
1 (n=1)	Vd. Mittelgesichtsfraktur	1	100%
2 (n=1)	Vd. Mittelgesichtsfraktur	1	100%
3 (n=10)	Vd. Mittelgesichtsfraktur	3	30%
	Epithesenverankerung geplant	2	20%
	Mastoiditis	2	20%
	Tränenwegsstenose	2	20%
	Lagekontrolle Cochleaimplantat	2	10%
4 (n=25)	Vd. Mittelgesichtsfraktur	8	32%
	Innenohrschwerhörigkeit	3	12%
	Lagekontrolle Cochleaimplantat	3	12%
	Nasenatmungsbehinderung	3	12%
	Otitis media chronica epitympanalis	3	12%
	Mastoiditis	2	8%
	Schallleitungsschwerhörigkeit	2	8%
5 (n=54)	Vd. Mittelgesichtsfraktur	17	31,5%
	Otorrhoe	11	20,4%
	Mastoiditis	6	11,1%
	Lagekontrolle Cochleaimplantat	5	9,3%

	Schallleitungsschwerhörigkeit	5	9,3%
	Otitis media chronica epitympanalis	4	7,4%
6	Vd. Mittelgesichtsfraktur	10	29,4%
(n=34)	Otorrhoe	8	23,5%
	Schallleitungsschwerhörigkeit	4	11,8%
	Fehlbildung Ohr	3	8,8%
	Rhinosinusitis	2	5,9%
	Otitis media chronica epitympanalis	2	5,9%
7	Vd. Mittelgesichtsfraktur	19	57,6%
(n=33)	Rhinosinusitis	3	9,1%
	Lagekontrolle Cochleaimplantat	3	9,1%
	Mastoiditis	3	9,1%
	Persistierende Rhinorrhoe	2	6,1%
8	Otitis media acuta	5	18,5%
(n=27)	Vd. Mittelgesichtsfraktur	5	18,5%
	Lagekontrolle Cochleaimplantat	3	11,1%
	Rhinosinusitis	2	7,4%
	Innenohrschwerhörigkeit	2	7,4%
	Nasenatmungsbehinderung	2	7,4%
	Otitis media chronica mesotympanalis	2	7,4%
	Unklare Otalgie	2	7,4%
9	Vd. Mittelgesichtsfraktur	14	31,1%
(n=45)	Otitis media chronica epitympanalis	10	22,2%
	Rhinosinusitis	4	8,9%
	Nasenatmungsbehinderung	3	6,7%
	Otorrhoe	3	6,7%
	Schallleitungsschwerhörigkeit	3	6,7%
10	Vd. Mittelgesichtsfraktur	17	32,7%
(n=52)	Otitis media chronica epitympanalis	8	15,4%
	Nasenatmungsbehinderung	3	5,8%
	Otorrhoe	3	5,8%
11	Vd. Mittelgesichtsfraktur	20	50%
(n=40)	Nasenatmungsbehinderung	4	10%
	Rhinosinusitis	3	7,5%

	Otitis media chronica epitympanalis	3	7,5%
	Schallleitungsschwerhörigkeit	3	7,5%
	Lagekontrolle Cochleaimplantat	2	5%
	Otorrhoe	2	5%
12	Vd. Mittelgesichtsfraktur	11	25%
(n=44)	Otitis media chronica epitympanalis	6	13,6%
	Rhinosinusitis	4	9,1%
	Lagekontrolle Cochleaimplantat	4	9,1%
	Persistierende Cephalgien	4	9,1%
	Schallleitungsschwerhörigkeit	4	9,1%
	Nasenatmungsbehinderung	3	6,8%
13	Vd. Mittelgesichtsfraktur	24	49%
(n=49)	Rhinosinusitis	5	10,2%
	Persistierende Cephalgien	5	10,2%
	Otitis media chronica epitympanalis	4	8,2%
	Nasenatmungsbehinderung	3	6,1%
14	Vd. Mittelgesichtsfraktur	16	47,1%
(n=34)	Nasenatmungsbehinderung	5	14,7%
	Rhinosinusitis	3	8,8%
	Fehlbildung Ohr	2	5,9%
	Raumforderung NNH	2	5,9%
	Schallleitungsschwerhörigkeit	2	5,9%
15	Vd. Mittelgesichtsfraktur	19	48,7%
(n=39)	Nasenatmungsbehinderung	7	17,9%
	Persistierende Cephalgien	3	7,7%
	Rhinosinusitis	2	5,1%
	Fehlbildung Ohr	2	5,1%
	Otorrhoe	2	5,1%
16	Vd. Mittelgesichtsfraktur	9	25%
(n=36)	Nasenatmungsbehinderung	9	25%
	Rhinosinusitis	5	13,9%
	Persistierende Cephalgien	5	13,9%

17	Vd. Mittelgesichtsfraktur	9	45%
(n=20)	Rhinosinusitis	4	20%
	Nasenatmungsbehinderung	4	20%
	Fokussuche	1	5%
	Persistierende Cephalgien	1	5%
	Persistierende Rhinorrhoe	1	5%
18	Vd. Mittelgesichtsfraktur	3	30%
(n=10)	Otitis media chronica mesotympanalis	2	20%
	Schallleitungsschwerhörigkeit	2	10%
	Rhinosinusitis	1	10%
	Nasenatmungsbehinderung	1	10%
	Persistierende Rhinorrhoe	1	10%

Tabelle 36: Indikationen im Gesamtkollektiv, welche eine Häufigkeit von mindestens 5% haben, nach Alter (in Jahren)

4.5 Betrachtung des Einzelfalls ‚sonstige Region‘

Neben den 212 Aufnahmen der Felsenbein-Region und den 341 Darstellungen der NNH-Region wurde ein Bild einer ‚sonstigen Region‘ angefertigt (0,2% im Gesamtkollektiv). Hierbei handelte es sich um einen 16-jährigen männlichen Patienten mit Darstellung des Halses. Die technischen Einstellungsparameter dieser einzelnen Aufnahme sind Tabelle 37 zu entnehmen. Vor der eigentlichen Bildgebung wurde eine Scout-Aufnahme zur Übersicht angefertigt. Die rechtfertigende Indikation war der Verdacht auf einen Fremdkörper im Hals. Um die Diagnose stellen zu können und einen eventuellen Fremdkörper zu visualisieren, wurde eine DVT indiziert und angewandt. Hier konnte kein Fremdkörper nachgewiesen werden. Zur Sicherheit wurde anschließend eine weitere Bildgebung durchgeführt. Auch diese konnte keinen Fremdkörper nachweisen. Somit gab es keinen Informationsgewinn durch diese weitere Bildgebung.

Röhren- spannung	Röhren- strom	Expositions- zeit	CTDI	Schicht- dicke	Schicht- intervall	Rotations- winkel	FOV
82kV	6mA	9s	3,3mGy	1,2mm	0,6mm	180°	10x10cm

Tabelle 37: technische Einstellungsparameter der Aufnahme ‚sonstige Region‘

5. Diskussion

Ziel dieser retrospektiven Studie war es, den Einsatz der Bildgebung mittels DVT im Kindes- und Jugendlichenalter (0-18 Jahren) im klinischen Alltag der HNO-Abteilung des Universitätsklinikums Marburg zu analysieren. Hierzu wurden insbesondere die technischen Parameter sowie die jeweilige Indikation des Patientenkollektives dokumentiert und ausgewertet.

Im folgenden Abschnitt sollen die zuvor veranschaulichten Ergebnisse im Zusammenhang mit aktuellen wissenschaftlichen Arbeiten diskutiert und bewertet werden. Hierzu werden zunächst die technischen Parameter, welche die Strahlendosis beeinflussen (CTDI, Röhrenstrom, Röhrenspannung, FOV und Rotationswinkel), näher betrachtet. Anschließend werden die Informationen, welche durch die klinische Dokumentation gewonnen wurden, wie beispielsweise die Indikationen, beleuchtet.

5.1 Technische Parameter

5.1.1 Computed Tomography Dose Index

Der ‚Computed Tomography Dose Index‘ (CTDI) ist ein Maß für die applizierte Strahlendosis. Er ist direkt linear proportional zu dem eingestellten Röhrenstrom und nicht linear abhängig von der Röhrenspannung, beides zusammen bewirkt den Elektronenfluss im DVT-Gerät [106]. Außerdem wird der CTDI durch die Wahl des FOV und des Rotationswinkels beeinflusst. Von der Strahlendosis ist wiederum die Bildqualität abhängig [119]. Zur Berechnung des CTDI wird stets Bezug auf einen Phantomkopf mit einem Durchmesser von 16cm genommen. Bei der Betrachtung des CTDI im Kleinkindalter bzw. Säuglingsalter muss deshalb bedacht werden, dass durch die Kopfgröße bedingt der tatsächliche CTDI unterschätzt werden kann, wenn nicht spezielle Kinderphantome in die Berechnung einbezogen werden [106].

Die Wichtigkeit des Strahlenschutzes im Kindesalter ist in mehreren Punkten begründet, so ist, wie bereits in der Einleitung erwähnt, das Strahlenrisiko im Kindesalter höher als das Erwachsener sowie die Manifestation von Spätfolgen wahrscheinlicher [4]. Durch die Strahlenschutzkommission wird deshalb eine Anpassung der Strahlendosis an das Alter des Patienten und die rechtfertigende

Indikation gefordert. Grundlage des Strahlenschutzes ist außerdem die Anwendung von Röntgenstrahlung nach dem ALARA-Prinzip (as low as reasonably achievable) [48].

In dieser Studie unterschieden sich die Mittelwerte des CTDI bezogen auf die jeweilige Region signifikant. Dabei lag der CTDI der Laterobasis mit 6,01mGy höher als der CTDI der Frontobasis mit 4,24mGy. Da mittels DVT hauptsächlich knöcherne Strukturen (Hochkontrastobjekte) dargestellt werden [11], lässt sich der höhere CTDI-Mittelwert der Laterobasis erklären. Denn die knöchernen Strukturen sind hier sehr viel dichter, außerdem sind hier besonders kleine Strukturen von hoher diagnostischer Bedeutung. Beispielsweise muss die Ossikelkette gut beurteilbar sein. Im Bereich der Frontobasis bietet allein die Anatomie durch Luft-Knochen-Übergänge starke Kontraste. So ist im Bereich des Felsenbeins, laut einer Studie von Bitterwolf et al, eine höhere Strahlendosis nötig, um eine präzise Darstellung der interessierenden filigranen Strukturen zu bekommen [9]. Bezüglich der empfohlenen Strahlendosis für die jeweilige Region gibt es vom Bundesamt für Strahlenschutz eine Liste mit Referenzwerten. In dieser wird zusätzlich in der empfohlenen Höhe der Strahlung zwischen Erwachsenen und Kindern unterschieden, außerdem wird die Gruppe der Kinder in verschiedene Altersgruppen unterteilt, dabei steigen die Dosisreferenzwerte mit dem Alter [15]. Dies ist durch die geringere Objektdicke bedingt, so dass gezeigt werden konnte, dass auch bei geringerer Strahlendosis Aufnahmen guter Qualität entstehen [4]. Auch in dieser Studie konnte eine Korrelation zwischen CTDI und Patientenalter bei NNH-Bildgebungen nachgewiesen werden. Der CTDI war im Kleinkindesalter im Vergleich zu Bildgebungen bei Schulkindern oder Patienten im jungen Adoleszentenalter geringer, auch im späten Adoleszentenalter wurden vergleichbare Werte erzielt. Es wäre deshalb interessant, ob eine weitere Dosisreduktion in allen Altersgruppen, aber besonders in der Gruppe der Schulkinder und Jugendlichen möglich ist. Auch die Anatomie bzw. Pneumatisation der Nasennebenhöhlen in den verschiedenen Altersgruppen spielt bei der Wahl der Dosis eine Rolle.

Bezogen auf den Strahlenschutz und die Möglichkeit der Dosisreduktion werden zahlreiche Studien zum Vergleich zwischen CT und DVT durchgeführt. Man ging zunächst von einer geringeren Strahlenbelastung beim DVT aus bei selbiger oder

besserer Bildqualität [19, 80, 84]. Heute besteht eine Diskrepanz zwischen Studien die einerseits eine Überlegenheit des CT [71] andererseits eine Überlegenheit des DVT [24, 58, 61, 112] oder eine Vergleichbarkeit beider darlegen [85]. Die Ursache der Diskrepanz liegt im unterschiedlichen Studiendesign begründet. Einige Studien ermitteln den CTDI und/oder die Bildqualität anhand von Phantomen, andere Vergleichen ‚echte‘ Patientenbilder. Auch hinsichtlich der technischen Einstellungsparameter und Untersuchungsprotokolle gab es Unterschiede, welche einen Vergleich zwischen CT und DVT erschweren. Die Zielsetzung unterschied sich ebenfalls in den Studien zur Überlegenheit der Technologien, so dass einerseits die Strahlendosis andererseits die Bildqualität beurteilt wurden [95]. So bleibt zu sagen, dass die Reduktion der Strahlung in beiden Untersuchungen weiter untersucht werden muss und möglich ist. Durch die Weiterentwicklung der CT-Geräte, beispielsweise zu Dual-Source-CT's [67, 102] und die Möglichkeit die Stromstärke und die Röhrenspannung anzupassen, erzeugen auch diese Bilder guter Qualität bei vergleichbar geringen Strahlendosen [71]. Auch neuere DVT-Geräte ermöglichen die Wahl zwischen verschiedenen Einstellungsmodalitäten (FOV, Rotationswinkel, Stromstärke und Spannung), wodurch die Strahlung reduziert werden kann.

5.1.2 Rotationswinkel

Bei der Bildgebung mittels DVT rotiert die Röntgenröhre um die ROI. Hierbei kann die Röhre entweder eine halbe Rotation, also 180° , oder eine ganze Rotation mit 360° durchführen. Vorteile der 180° -Rotation ist vor allem eine geringere Untersuchungszeit und eine geringere Strahlenbelastung, außerdem wird weniger umliegendes Gewebe wie die Augen ‚mitbestrahlt‘ [55]. Im Gegensatz dazu weisen Aufnahmen durch eine 360° -Rotation eine höhere Bildqualität auf, wobei beachtet werden muss, dass durch die längere Untersuchungszeit Bewegungsartefakte bedingt werden können [11, 67]. So muss auch hier im Hinblick auf den Strahlenschutz abgewogen werden, welcher Einstellungsmodus gewählt werden soll.

Der Datensatz des Patientenkollektives dieser Studie ergab, dass in 8% der Felsenbein-Darstellungen und in 47,8% der NNH-Darstellungen die 180°-Rotation angewandt wurde. Der 360°-Modus wurde bei 92% der Felsenbein-Aufnahmen und in 52,2% der NNH-Aufnahmen gewählt.

Betrachtet man die Bildgebung der Frontobasis, so beinhaltete die frühere Standardeinstellung einen Rotationswinkel von 360°. Durch eine Studie am Universitätsklinikum Marburg von Güldner et al. konnte jedoch gezeigt werden, dass alle wichtigen Strukturen auch bei Einstellung der 180°-Rotation ausreichend beurteilbar waren und zusätzlich die Strahlenbelastung des Auges gesenkt werden konnte, da dies nicht mehr im direkten Strahlengang liegt [55, 67]. Aus diesen Gründen sollte in dieser Region der 180°-Modus als Routineeinstellung gewählt werden. Da die vorliegende Arbeit beide Perioden umfasst, zeigt sich eine noch relativ hohe Quote von 360° Rotationsaufnahmen.

Die Standardeinstellung für die Bildgebung des Felsenbeins beinhaltete eine 360° Rotation, jedoch konnte auch hier gezeigt werden, dass die Beurteilbarkeit auch bei einer 180° Rotation ausreichend war und damit die applizierte Strahlendosis reduziert werden konnte [9]. Deshalb wurde ebenfalls der 180°-Modus in die Standardeinstellungen für diesen Bereich aufgenommen. Dies stellt gerade in der Gruppe der jungen Kinder eine exzellente Möglichkeit der Reduktion sowohl von Aufnahmezeit als auch Strahlenexposition dar und sollte konsequenter eingesetzt werden.

Auch in zahnmedizinischen Studien konnte gezeigt werden, dass 180°-Aufnahmen eine ausreichende Beurteilbarkeit feiner Strukturen bieten [41, 90].

In dieser Studie wurde in 92% der Felsenbeinaufnahmen und in 52,2% der NNH-Aufnahmen der 360°-Modus gewählt. Die hohe Anzahl der im 360°-Modus gefahrenen Aufnahmen trotz Umstellung der Standardprotokolle im Jahr 2013 liegt daran, dass die hauptsächliche Datenerhebung vor diesem Zeitpunkt lag. Hierzu wäre eine erneute Studie bezüglich des Rotationswinkels nach Umstellung der Standardprotokolle interessant.

In dieser Studie wurde außerdem unterteilt, wie häufig der 180°-Modus oder der 360°-Modus in den jeweiligen Altersgruppen (nach Lebensjahren) angewandt wurde. Aus diesen Daten ist ersichtlich, dass der 180°-Modus zwei Häufigkeitspeaks aufweist, der erste Peak liegt im Kleinkindesalter (1-3 jährige),

der zweite Peak liegt im späten Adoleszentenalter (16-18 Jährige). Der 360°-Modus wurde in den zwischenliegenden Altersgruppen, also bei den Schulkindern und jungen Adoleszenten (4-15 Jährige), am häufigsten gewählt. Dies spiegelt sich sowohl bei der Analyse des Gesamtkollektives als auch bei Unterteilung in die Regionen NNH und Felsenbein wieder. Eine Erklärung hierfür ist, dass das Strahlenrisiko in jungem Alter am höchsten ist [4, 14, 59]. Durch die Auswahl der 180°-Rotation kann die Strahlendosis reduziert werden. Außerdem ist besonders im Kleinkindesalter bei der 360°-Einstellung die Gefahr für Bewegungsartefakte größer, da dieses Patientenkollektiv oft nicht ausreichend ruhig gelagert werden kann. Aus diesen Gründen bietet die 180°-Rotation bei Kleinkindern einen Vorteil [11]. Im Gegensatz dazu, ist die Compliance eine Position für kurze Zeit halten zu können im späten Adoleszentenalter recht groß, so dass bei geringerer Untersuchungszeit und reduzierter Strahlendosis trotzdem eine gute Bildqualität erzeugt werden kann. In den zwischenliegenden Altersgruppen sollte vermehrt die 180°-Rotation gewählt werden, da die Bildqualität meistens, wie bereits oben erwähnt, auch hier ausreichend ist und dem Patientenkollektiv die Wahrung einer Körperhaltung für kurze Zeit zuzumuten ist. Hierdurch könnte auch in diesem Kollektiv weiter Strahlendosis eingespart werden.

5.1.3 Field of view

Bei der Wahl des Field of view (FOV) ist zu beachten, dass dieses groß genug sein sollte, um die interessierende Region (ROI) komplett abzubilden, aber andererseits nicht zu groß sein sollte, da die Ortsauflösung mit der Größe des Zylinders abnimmt [60, 94, 95] und die applizierte Strahlendosis mit der Größe des FOV zunimmt [79, 81].

In der Felsenbeinregion wird ein relativ kleines FOV eingestellt, da eine präzise Darstellung der kleinen knöchernen Strukturen von Mittel- und Innenohr verlangt und nur ein kleines Volumen benötigt wird. Hierzu kann zunächst ein orientierender Overview-Scan (Scout-Aufnahme) erfolgen und anschließend eine präzise und detailgenaue Darstellung des FOV, wobei die Genauigkeit höher und die Strahlendosis geringer als beim herkömmlichen CT ist [68]. Bei

Indikationen, welche eine beidseitige Darstellung der Felsenbeine erfordert, wird somit eher eine Aufnahme pro Seite mit jeweils kleinem FOV gewählt anstelle eines großen FOV, welches beide Felsenbeine auf einmal darstellen würde. Dies hat jedoch den Nachteil, dass dadurch die Untersuchungszeit bei bis zu 35s liegen kann und somit ein erhöhtes Risiko für Bewegungsartefakte besteht. Daher ist gerade bei kleinen Kindern eine Abwägung von applizierter Dosis, Risiko der Bewegungsartefakte und notwendigem FOV intensiv durchzuführen.

In 95,3% der Felsenbein-Darstellungen wurde in dieser Studie ein FOV von 6x6cm gewählt, dies entspricht den gängigen Standardeinstellungen, da hierbei beispielsweise Stapespathologien, Innenohrverkalkungen, Dehiszenzen, Prothesenfehlagen oder Otoskleroseplaques zuverlässig beurteilt werden können [95]. Andere FOV-Einstellungen wurden nur zu einem kleinen Teil gewählt und sind in Spezialfragestellungen begründet. Auch bei Unterteilung in die Altersgruppen war ein FOV von 6x6cm in allen Gruppen die häufigste Einstellung. Besonders die 4x4cm Einstellung wird von Dalchow et al gerade bei ausgedehnten Pathologien als unzureichend beschrieben [25].

Bei der Darstellung der Frontobasis handelt es sich um eine relativ große anatomische Struktur bestehend aus Nase und beidseitigen Nasennebenhöhlen mit den zugehörigen knöchernen Begrenzungen. Daran lässt sich erklären, warum hier im Vergleich zum Felsenbein in den meisten Fällen ein grundsätzlich größeres FOV gewählt wird.

Die häufigste FOV-Einstellung war mit 45,5% 10x10cm, gefolgt von 6x6cm (22,8%) und 10x14cm (18,2%). Dies spiegelt sich auch in der Literatur wieder, früher war nur ein FOV von 6x6cm möglich, durch die Erweiterung der FOV-Modalitäten wurde eine bessere Darstellung ermöglicht, so dass ein FOV von 10x10cm die Beurteilung aller interessierenden Strukturen ermöglicht [11, 12]. Zu beachten ist, dass isolierte Nasenbeinfrakturen auch mit einem FOV von 6x6cm diagnostiziert werden können, allerdings lässt diese Einstellung keine Beurteilung der angrenzenden Knochen zu, so dass Frakturen in diesen Bereichen übersehen werden können [13]. Aus diesem Grund ist ein FOV von 10x10cm bei der Darstellung der Frontobasis die Standardeinstellung. Es erfolgte auch für diesen Bereich eine Aufschlüsselung in die verschiedenen

Altersgruppen. Dort zeigt sich erneut die konsequente Umsetzung des Strahlenschutzes daran, dass gerade im jungen Alter bei entsprechend kleineren anatomischen Strukturen auch ein kleineres FOV gewählt werden kann und wurde.

5.1.4 Röhrenspannung und Röhrenstrom

Mit Hilfe der angelegten Röhrenspannung und des Röhrenstroms kann die Strahlendosis variiert werden [84]. Der Zusammenhang zwischen Stromstärke und Dosis ist linear, wohingegen die Spannung keinem linearen Zusammenhang mit der Dosis folgt [89]. Außerdem ist zur Beurteilung der Strahlendosis die Betrachtung des Produktes aus Stromstärke und Expositionszeit wichtig (Strom-Zeit-Produkt). Das am Gerät eingestellte Strom-Zeit-Produkt gibt die Höhe und die Dauer des Elektronenflusses vor und bestimmt damit maßgeblich die Strahlendosis (proportional), von ihr hängt letztendlich auch die Anzahl der Photonen ab, welche am Detektor ankommen und damit auch die Bildqualität [70]. Um Strahlendosis einzusparen, sollte in erster Linie die Einstellung des Stroms oder der Zeit verändert werden, falls dies nicht weiter möglich ist, kann als zweite Wahl die Spannung reduziert werden [89]. Aus einer Reduktion des Röhrenstroms resultieren unschärfere Kontraste sowie vermehrtes Bildrauschen, beides schränkt die Bildqualität ein.

Demnach ist von der Strahlendosis die Bildqualität abhängig. Eine Studie von Bitterwolf et al. zeigte, dass die Bildqualität bei hoher Strahlendosis deutlich besser war, jedoch eine Reduktion der Dosis anzustreben sei, da meistens auch eine geringere Bildqualität zur Diagnostik ausreichend sei [9]. Gerade bei Aufnahmen von ‚Hochkontraststrukturen‘ sei eine ausreichende Beurteilung auch bei geringerer Bildqualität möglich [111]. Zusätzlich ist die Bildqualität von der Größe des zu untersuchenden Objektes (des Patienten) abhängig, da die Qualität mit steigendem Durchmesser abnimmt. Aus diesem Grund wird eine Anpassung der technischen Parameter an die jeweilige Größe bzw. das Alter gefordert. Die Qualität ist bei kleineren Untersuchungsobjekten bei reduziertem Strom-Zeit-Produkt äquivalent zu der Qualität bei größeren Untersuchungsobjekt mit Standardeinstellungen [89].

Die Wahl der technischen Einstellungsparameter wie Röhrenstrom und Röhrenspannung ist abhängig von der zu untersuchenden Region. So bietet die Frontobasis allein durch die Anatomie starke Kontraste (Luft-Knochen-Übergänge). Die Laterobasis weist dagegen viele filigrane knöcherne Strukturen auf (Ossikelkette), welche dennoch scharf und überlagerungsfrei dargestellt werden sollen. Aus diesen Gründen ist im Bereich der Laterobasis eine höhere Strahlendosis und damit ein höherer Röhrenstrom nötig.

Dies spiegelt sich auch in dieser Studie wieder, da sich die Mittelwerte von Strom und Spannung in den jeweiligen Regionen signifikant unterschieden. Der Röhrenstrom lag im Bereich der Laterobasis mit 6,97mA signifikant höher als bei Frontobasis-Aufnahmen (4,79mA). Die Röhrenspannung war im Bereich der Frontobasis mit 85,06kV signifikant höher als im Bereich der Laterobasis mit 82,43kV. Außerdem war die Dosis bei Aufnahmen der Laterobasis mit 6,01mGy signifikant höher als die der Frontobasis mit 4,24mGy.

Güldner et al. konnten für die Frontobasis zeigen, dass bei folgender Einstellung die Bildqualität ausreichend war: 4mA Röhrenstrom, 84kV Spannung und 180° Rotationswinkel [55]. Die Mittelwerte für Strom und Spannung bei Darstellungen der Frontobasis waren in der vorliegenden Studie etwas höher mit 4,79mA und 85,06kV, so dass hier in der Zukunft eine leichte Reduktion möglich und anzustreben ist.

Es konnte in der vorliegenden Studie eine Korrelation zwischen dem Alter des Patienten und den angewandten Strom und Spannungswerten im Bereich der Frontobasis nachgewiesen werden. Mit steigendem Alter des Patienten wurde eine höhere Spannung und ein niedrigerer Strom gewählt. Eine Erklärung hierfür ist die unterschiedliche Pneumatisation der Nasennebenhöhlen in den verschiedenen Altersstufen. Die Nasennebenhöhlen sind erst mit ca. 14 Jahren voll ausgebildet und pneumatisiert. Vorher sind die Septen teilweise verdickt und der Processus uncinatus eher fragil. Allein das Siebbein ist zum Zeitpunkt der Geburt ausgebildet, alle anderen Nasennebenhöhlen entwickeln sich noch [107]. Somit ist der im Erwachsenenalter gegebene starke Luft-Knochen-Kontrast im Kindesalter noch nicht gegeben, weshalb höhere Dosiswerte erzeugt werden müssen. Um hier eine qualitativ ausreichende Darstellung zu gewährleisten kann das Strom-Zeit-Produkt nicht weiter gesenkt werden, aber

die Spannung wird gesenkt um die Dosis möglichst gering zu halten. Mit zunehmender Pneumatisation der Nasennebenhöhlen und zunehmendem Alter des Patienten kann dann eine Reduktion des Strom-Zeit-Produktes vorgenommen werden [89].

Die Strahlendosis wird neben Stromstärke und Spannung auch von der Wahl der Expositionszeit, des Rotationswinkels und des FOV bestimmt [55, 111]. Neben der Strahlendosis wird die Bildqualität auch von der Voxelgröße bestimmt [94].

5.1.5 Scout-Aufnahmen

Scout Aufnahmen sind sogenannte zweidimensionale Übersichtsaufnahmen, welche der eigentlichen Bildgebung mittels DVT vorgeschaltet werden können. Mittels Laser-Pilotstrahlen, welche alle 3 Raumebenen widerspiegeln, wird die ROI eingestellt, danach kann entweder sofort die eigentliche DVT-Bildgebung stattfinden oder eine Scout-Aufnahme mit dem Ziel einer Optimierung der ROI-Einstellung durchgeführt werden. Zum Zweck der Dosisersparung sollte das FOV möglichst klein gehalten werden, deshalb bedient man sich oft einer Scout-Aufnahme, um sicher zu gehen, dass die ROI komplett abgebildet wird andererseits wählt man auf Kosten der höheren Dosis ein größeres FOV [29]. Dem entgegen führt die zusätzliche Durchführung einer Scout-Aufnahme zu einer geringen, aber vorhandenen, zusätzlichen Strahlenbelastung sowie zu einer weiteren Verlängerung der Aufnahmezeit mit einer entsprechenden Erhöhung des Risikos von Bewegungsartefakten. Entgegen zur Scout-Aufnahme des CTs ist diese in der DVT-Bildgebung nicht zwingend notwendig und stellt keine Basis für eine Dosismodulation dar. Somit ist auch die mit der Scout-Aufnahme verbundene applizierte Dosis im Vergleich zur tatsächlichen Aufnahme minimal.

In einigen Geräten dient die Scout-Aufnahme auch der automatischen Einstellung der technischen Einstellungsparameter[81]. Im Bereich der Laterobasis sollten die Pilotstrahlen das Antrum mastoideum fokussieren, bei der Frontobasis die Spina nasalis anterior [10].

In dieser Studie wurden insgesamt in 27,08% Scout-Aufnahmen angefertigt. Diese teilten sich wie folgt auf: im Bereich der Laterobasis wurde in 17% und im

Bereich der Frontobasis in 33,4% eine Scout-Aufnahme durchgeführt. Eigentlich ist die Positionierung im Bereich der Laterobasis schwieriger (Linea temporalis, Gehörgangshinterwand, Augenwinkel), da die Ausrichtung der Pilotstrahlen nicht so klare Orientierungspunkte aufweist wie die Frontobasis (Oberlid, Kieferhöhle). In dem hier analysierten Patientengut wurden im Bereich der Frontobasis mehr Scout-Aufnahmen angefertigt. Dies kann daran liegen, dass in diesem Bereich die Variabilität der FOV-Größe eine größere Bedeutung hat. Außerdem bedeutet eine Scout-Aufnahme einen zusätzlichen zeitlichen Aspekt, so dass das Risiko für Bewegungsartefakte und Verwackeln zwischen der Scout-Aufnahme und der eigentlichen DVT-Bildgebung steigt. Eventuell werden die Aufnahmen der Felsenbeinregion bei Kindern nur durch erfahrenere Untersucher durchgeführt, welche sich die Bildgebung auch ohne vorherige Scout-Aufnahme zutrauen.

Außerdem wurden in diesem Datensatz in beiden Regionen mehr Scout-Aufnahmen im Adoleszentenalter als im Kindesalter angefertigt. Dies zeigte sich besonders stark in der Felsenbein-Region. Die vermehrte Anfertigung von Scoutaufnahmen mit steigendem Alter liegt an der Tatsache, dass die Exposition gegenüber ionisierenden Strahlen aus Strahlenschutzgründen insbesondere im Kleinkindesalter möglichst gering gehalten werden soll. Da auch eine Scout-Aufnahme zu einer Strahlenexposition beiträgt, wird deshalb im Kleinkindesalter häufiger auf diese verzichtet. Zu beachten ist jedoch auch, dass eine Scout-Aufnahme mit dem Ziel durchgeführt wird, ein optimales Bild zu erhalten und eine Wiederholung (erneute Strahlenexposition) zu verhindern [110]. Zusätzlich ist die Compliance eine Position für eine bestimmte Zeit zu wahren im Kleinkindesalter oft nicht gegeben, weshalb auf eine Scout-Aufnahme verzichtet wurde.

Stutzki et al. zeigten in ihrer Arbeit ebenfalls, dass im Bereich der Frontobasis mehr Scout-Aufnahmen als im Bereich der Laterobasis gefahren wurden (Frontobasis 75,8%; Laterobasis 49,8%). Auch in Bezug auf die Altersverteilung kamen sie zu einem ähnlichen Ergebnis. In ihrer Studie wurde zwischen Minderjährigen und Erwachsenen unterschieden. Bei den Minderjährigen wurden deutlich weniger Scout-Aufnahmen als bei Erwachsenen angefertigt. Bei NNH-Darstellungen wurden in nur 57,1% der Minderjährigen Scout-Aufnahmen

erstellt, während es bei Erwachsenen 77,5% waren. Ebenso wurden vor Felsenbein-Aufnahmen bei Minderjährigen nur in 34% und bei Erwachsenen in 50,9% Scout-Aufnahmen erzeugt [109].

Schlussfolgernd sollte bei jedem Patienten individuell darüber entschieden werden, ob eine Scoutaufnahme weitere Strahlenbelastung und wenig Informationsgewinn oder eine Minimierung der Strahlenexposition durch optimale Einstellung der ROI und die Wahl eines kleineren FOV bedeutet.

5.1.6 Wiederholungsaufnahmen

In einigen Fällen sind Wiederholungsaufnahmen nötig, wenn die ursprüngliche Aufnahme keinen diagnostischen Wert besitzt oder die Aussagekraft des Bildes zu gering ist um eine Diagnose zu verifizieren.

Auch in dieser Arbeit wurden im Bereich der Laterobasis in 5,5% und im Bereich der Frontobasis in 4,7% Wiederholungen mittels DVT durchgeführt. Daraufhin folgte eine Analyse des Grundes für die jeweilige Wiederholung, hierbei wurde zwischen verwackelter Aufnahme und inkompletter Aufnahme (unzureichende Darstellung der ROI) unterschieden. In dem hier analysierten Patientenkollektiv waren 66,7% (n=18) der ursprünglichen Aufnahmen verwackelt und 33,3% (n=9) bildeten die ROI inkomplett ab. Bei Betrachtung des Alters der Patienten, welche eine Wiederholungsaufnahme benötigten, konnte festgestellt werden, dass im Kleinkindes.- und Schulalter mehr Wiederholungen benötigt wurden als im Jugendalter. Das Durchschnittsalter bei primär verwackelten Aufnahmen lag mit 6,83 Jahren niedriger als das Durchschnittsalter bei primär inkompletter Aufnahme mit 10,56 Jahren. Außerdem wurden im Bereich der Frontobasis bei 5,8% der Jungen im Vergleich zu 3% bei Mädchen mehr Wiederholungen durchgeführt.

In Bezug auf den Grund der Wiederholung konnte festgestellt werden, dass bei denjenigen Patienten, welche eine inkomplette Darstellung bekommen haben, nur in 11,11% (n=1) zuvor eine Scout-Aufnahme angefertigt wurde. Bei 33,33% (n=3) wurde nach der zuvor inkompletten Aufnahme eine Scout-Aufnahme vor der Wiederholung angefertigt. Durch Optimierung der FOV-Einstellung und eine vorherige Scout-Aufnahme können inkomplette Darstellungen weitestgehend

verhindert werden [63, 110], jedoch muss die zusätzliche Strahlendosis durch diese Aufnahme beachtet werden [19]. Suomalainen et al. beschrieben in ihrer Studie ebenfalls, dass bei 4,5% Reevaluationen mittels DVT nötig waren, da die ROI in der primären Bildgebung nicht komplett erfasst wurde [110]. Es wurden keine Studien gefunden, welche sich mit dem Thema beschäftigen, wie oft bei anderen Bildgebungsmethoden wie MRT, CT oder Röntgen Wiederholungen benötigt wurden, insbesondere auf die Bildgebung bei Kindern bezogen. Ali et al. konnten lediglich in ihrer Studie zeigen, dass die Anzahl an Wiederholungen aufgrund von Bewegungsartefakten durch vorherige Aufklärung von 12,6% auf 6,4% gesenkt werden konnte [2]. Bei Kindern ist eine Aufklärung über mögliche Bewegungsartefakte allerdings je nach Alter erschwert oder nicht möglich, häufig muss die Untersuchung in Sedierung durchgeführt werden.

Verschiedene Einstellungsparameter können zu verwackelten Aufnahmen führen, hierunter fallen beispielsweise die Rotationszeit oder das FOV. Durch die Wahl einer kürzeren Untersuchungszeit können Bewegungsartefakte vermieden werden und gleichzeitig auch die Strahlendosis verringert werden. Die Untersuchungszeit kann verringert werden, indem statt des 360°-Rotationswinkels der 180° Rotationswinkel genutzt wird [11]. Von allen verwackelten Aufnahmen wurden in dieser Studie 77,78% mit der längsten Untersuchungszeit (17,5s) gefahren.

Außerdem steigt die Rate an Bewegungsartefakten bei kleiner Voxelgröße an, da die Wahrscheinlichkeit, dass durch Bewegung die anatomische Struktur nicht mehr im ‚korrekten‘ Voxel abgebildet wird, größer ist [103]. Hierbei spielt auch die Größe des FOV eine Rolle, denn kleinere FOV sind mit einer kleineren Voxelgröße assoziiert [70]. Da im Bereich der Laterobasis kleinere FOV als in der Frontobasis zur Anwendung kommen, ist dieser Bereich anfälliger für Bewegungsartefakte und erklärt den höheren Anteil der Wiederholungen im Bereich der Laterobasis. Außerdem ist der Anspruch an die Bildqualität bei Aufnahmen der Laterobasis höher, so dass Wiederholungen schneller indiziert sind.

Zusätzlich können Bewegungen durch eine korrekte Lagerung des Patienten mittels Lagerungshilfen (Kopfstützen, Fixierungshilfen) minimiert werden [63, 103]. Um Wiederholungen zu verhindern und damit die Strahlenbelastung

möglichst niedrig zu halten, sollten daher die Einstellungsparameter optimiert werden und die Untersuchung durch geschultes Personal durchgeführt werden. Außerdem können Scout-Aufnahmen zur korrekten Darstellung der ROI vorangeschaltet werden.

5.2 Indikationen

Im folgenden Abschnitt sollen die Daten bezüglich der rechtfertigenden Indikation analysiert werden. Es erfolgt zunächst eine Darstellung und Diskussion der Indikationen im Bereich der Laterobasis gefolgt von denen der Frontobasis.

5.2.1 Indikationen Felsenbein

5.2.1.1 Otitis media chronica epitympanalis

Die Untersuchung mittels CT ist ein wichtiger diagnostischer Baustein bei Erkrankungen, welche die Region der Laterobasis betreffen, auch bei der Diagnostik einer Otitis media chronica epitympanalis (eines Cholesteatoms) ist es Standard [50]. So können Weichteilprozesse oder Übergriffe auf knöcherne Strukturen mittels CT gut beurteilt werden, auch MRT-Untersuchungen können weitere Informationen bezüglich Weichteilpathologien liefern [66]. Allerdings können sehr kleine Strukturen oder Malformationen von Mittel- und Innenohr oft nur unzureichend dargestellt werden und die CT-Bildgebung ist anfällig gegenüber Metallartefakten, weshalb die Bildgebung bei liegendem Implantat oft nicht aussagekräftig ist [58].

Gupta et al. zeigten in ihrer Studie, dass eine Bildgebung mittels DVT für den Bereich der Laterobasis geeigneter sei als beispielsweise die CT-Bildgebung. So konnte die Ossikelkette und hier insbesondere der Stapes, die Innenohranatomie und der N. facialis detailgetreuer durch DVT-Bildgebung als durch CT beurteilt werden. An Modellen induzierte Läsionen in der Ossikelkette konnten mittels CT nicht ausreichend dargestellt werden, wohingegen diese im DVT-Bild gut zu beurteilen waren. Jedoch wird auch in dieser Studie darauf hingewiesen, dass die Darstellung von Weichteilgewebe mittels DVT schlechter ist als im CT, durch die anatomisch bedingten Kontraste aber trotzdem eine gute Beurteilung möglich ist [58].

Mit 20,3% aller Aufnahmen im Bereich der Laterobasis war die Otitis media chronica epitympanalis in dieser Studie die häufigste Indikation in diesem Bereich. Es handelt sich hierbei um eine chronisch entzündliche Erkrankung des Mittelohres, wobei es zum pathologischen Vorkommen von Plattenepithel im Bereich des Mittelohres kommt. Dies bewirkt wiederum Entzündungsprozesse, wodurch knöcherne Strukturen arrodieren werden können, so dass beispielsweise die Ossikelkette zerstört werden kann oder Fisteln zwischen Mittel- und Innenohr entstehen können [66]. In der Diagnostik des Cholesteatoms spielt die Bildgebung neben der klinischen Diagnosestellung eine wichtige Rolle, so ist zum Beispiel wichtig, die Integrität der Ossikelkette zu beurteilen um Folgeschäden zu verhindern. Dabei hat die CT die konventionelle Radiographie abgelöst und wird heute durch die Möglichkeit der DVT ergänzt [24]. Die Therapie des Cholesteatoms besteht stets aus einer vollständigen operativen Entfernung, weshalb oft eine präoperative Aufnahme zur besseren Planung und suffizienten Therapie angefertigt wird [34].

Im CT zeigt sich bei einem Cholesteatom fokales vermehrtes Weichteilgewebe zum Teil mit Arrosion von darunterliegendem Knochengewebe [66], es können Komplikationen und knöcherne Veränderungen dargestellt werden [8]. Dalchow et al. wiesen jedoch darauf hin, dass mittels CT nicht zwischen verschiedenen Weichteilgeweben differenziert werden könne [24]. So könnte die ‚Struktur‘ Sekret, Granulation, Narbe oder anderes Gewebe sein, dies schränke die Diagnostik mittels CT ein [8, 42]. Außerdem berichten Barath et al. von der Anwendung einer MRT im Bereich der Laterobasis, hiermit könne die ‚Weichteilstruktur‘ besser differenziert werden, aber die Beurteilung von Knochen sei damit nicht möglich [8]. Eine weitere Alternative zur Bildgebung von Mittel- und Innenohrpathologien und damit auch zur Diagnostik eines Cholesteatoms durch MRT oder CT bietet die Bildgebung durch die DVT. Dies soll im Folgenden durch Darlegung verschiedener Studien gezeigt werden.

Dalchow et al. zeigten in ihrer Studie durch die Analyse von 434 Patientenaufnahmen, dass bei 11 Patienten Pathologien der knöchernen Bedeckung der Bogengänge mittels DVT detektiert worden und anschließend operativ verifiziert werden konnten. Durch die diagnostische und präoperative DVT-Bildgebung war die Diagnosestellung und anschließend eine

Therapieplanung möglich, das intraoperative Risiko sowie Folgeschäden konnten minimiert werden [24].

Anhand von manipulierten Felsenbein-Modellen wiesen Gupta et al., wie bereits oben erwähnt, nach, dass beispielsweise die Integrität der Ossikelkette oder Fisteln zwischen Innenohr und Mittelohr in DVT-Aufnahmen suffizient beurteilbar sind, dies beides sind mögliche Komplikationen eines Cholesteatoms [58].

Auch Fatterpekar et al. berichten in ihrer Studie, von einer Überlegenheit der präoperativen Diagnostik durch die DVT gegenüber anderen Bildgebungen, da auch kleinste Strukturen präzise dargestellt werden können [24, 46].

Somit bietet die DVT neben CT und MRT eine gute Möglichkeit zur Diagnostik und Planung des weiteren Vorgehens bei knöchernen Innen- und Mittelohrpathologien und damit auch des Cholesteatoms. Besonders für die Bildgebung bei Kindern ist die DVT geeignet, da die Strahlenexposition geringer ist als beim CT bei gleicher oder überlegener Aussagekraft [23, 42, 92, 93, 96, 112].

Abschließend bleibt zu sagen, dass viele Studien aus ethischen Gründen auf Untersuchungen anhand von Modellen durchgeführt wurden um eine Strahlenbelastung beim Menschen zu verhindern. Eine vollständige Übertragung auf die klinische Anwendung am Patienten ist deshalb nicht möglich. Denn durch Fixierung der Modelle oder durch die Anwendung der DVT am lebenden Patienten ergeben sich verschiedene Untersuchungsbedingungen. Beim lebenden Patienten, insbesondere bei Kindern, können verschiedene Artefakte (Bsp. Bewegungsartefakte) auftreten, welche am Modell nicht zu erwarten sind. Aus diesem Grund sollten weitere patientenbezogene Studien durchgeführt werden, um eine abschließende Aussage der DVT- Anwendung im klinischen Alltag treffen zu können.

Auch diese Studie beschäftigte sich mit DVT-Bildgebung am Menschen und liefert damit einen weiteren Schritt um die Anwendung im klinischen Alltag zu beurteilen. Bei 43 Patienten dieser Studie wurde eine DVT-Bildgebung zum diagnostischen Ausschluss eines Cholesteatoms oder zur Beurteilung der umliegenden Strukturen bei bestehender Erkrankung durchgeführt. Bei einem Patienten war eine Wiederholung der DVT-Aufnahme nötig und bei weiteren 2

Patienten wurde eine zusätzliche Bildgebung durchgeführt, welche ein Cholesteatom ausschloss. Somit konnte gezeigt werden, dass die Bildgebung durch die digitale Volumentomographie neben dem CT ebenfalls zur Diagnostik und zum Ausschluss von Komplikationen eines Cholesteatoms im Kindesalter angewandt werden kann.

Jedoch bleibt zu sagen, dass die DVT eine schlechtere Aussagekraft bezüglich Weichteilpathologien bietet, beides führt jedoch zu Strahlenexposition. Aus diesem Grund soll auch die Untersuchung durch die MRT Erwähnung finden. Durch die MRT sind Weichteile gut beurteilbar und bei fehlender Strahlenexposition durchaus eine Alternative zu CT und DVT insbesondere für Kinder. Allerdings muss eine eventuell nötige Sedierung des Kindes mit den damit verbundenen Risiken bei MRT-Untersuchungen berücksichtigt werden.

Durch Studien durch de Foer et al. konnte gezeigt werden, dass besonders das ‚diffusion-weighted‘ MR-Protokoll gute Ergebnisse bei der Darstellung des Mittelohres liefert. In diesen Studien wurde die Diagnostik eines Cholesteatoms bzw. die Detektion von Residuen nach einer OP oder Rezidive mittels MRT analysiert. Besonders nach einer vorausgegangenen OP sei die Diagnostik mittels CT insuffizient, während durch MRT Cholesteatome mit einer Größe von 2-6 mm nachgewiesen werden konnten [49, 50]. Ähnliche Studien zum Vergleich zwischen DVT und MRT sind bislang nicht durchgeführt wurden, wobei auch hier die Dominanz der MRT in der Detektion von Residual- bzw. Rezidivcholesteatomen zu erwarten ist.

5.2.1.2 Otorrhoe

Mit 17,5% der DVT-Bildgebungen im Kindesalter dieser Studie war die Otorrhoe die zweithäufigste rechtfertigende Indikation. Unter Otorrhoe versteht man den Austritt von Sekret aus dem äußeren Gehörgang. Ursache hierfür können vor allem entzündliche Prozesse des Mittelohres oder des Gehörgangs, traumatische Verletzungen, tumoröse Prozesse sein.

Es wurde bereits dargelegt, dass sich die DVT zur Darstellung von Mittelohr und Innenohr gut eignet und eine Alternative zum CT bietet. Somit kann die DVT auch zur Ursachenforschung der Otorrhoe herangezogen werden. So wird die DVT beispielsweise neben dem CT als diagnostische Alternative bei der

chronisch-mesotympanalen Otitis media in der entsprechenden Leitlinie genannt [35]. Mittels DVT werden jedoch hauptsächlich knöcherne Pathologien ersichtlich, vermutet man eine Weichteilpathologie sollte eher auf eine MRT-Untersuchung zurückgegriffen werden.

In dieser Studie wurde bei 37 Patienten, bei welchen im Vorfeld eine Otorrhoe bekannt war, eine DVT-Aufnahme angefertigt. Hiervon war nur in einem Fall eine Wiederholungsbildgebung nötig um die letztendliche Diagnose zu stellen. Häufige Diagnosen nach der Bildgebung waren: Cholesteatom, chronische Otitis media und Mastoiditis oder aber der Ausschluss einer Pathologie. Diese Diagnosen werden auch in einer Studie von Juliano et al. mit Otorrhoe in Verbindung gebracht [66]. Im Anschluss an die Bildgebung erfolgte laut klinischer Dokumentation entweder eine konservative Therapie oder eine operative Sanierung.

Da die Otorrhoe ein Symptom verschiedener Erkrankungen sein kann, soll im Folgenden nicht weiter auf die Verwendung der DVT bei Otorrhoe eingegangen werden. Es werden die verschiedenen einzelnen Erkrankungen und die damit verbundenen Bildgebungsmöglichkeiten in einzelnen Abschnitten besprochen (Cholesteatom, Mastoiditis, Otitis media).

5.2.1.3 Lagekontrolle Cochleaimplantat

Bei angeborener oder prä-/perilingualer Schwerhörigkeit erfolgt eine Anlage eines Cochleaimplantats früh (ab dem 6. Lebensmonat), damit die Sprachentwicklung möglichst unbeeinträchtigt bleibt und die normale Teilnahme am Leben nicht durch eine Behinderung eingeschränkt wird [37]. Auch bei später auftretender Schallempfindungsschwerhörigkeit oder späterer Diagnose kann eine Anlage eines Cochleaimplantates erfolgen, wenn durch normale Hörgeräte kein ausreichendes Sprachverstehen oder Hören möglich ist. Durch ein Cochleaimplantat (CI) wird durch elektrische Reizung des funktionstüchtigen Hörnervs das Hören ermöglicht. Dabei werden die akustischen Signale durch ein Mikrophon aufgenommen, im Sprachprozessor erfolgt eine Verarbeitung und anschließend das Senden des Signals auf drahtlosem und transkutenem Weg zum Empfänger. Im Implantat, also im Empfänger, bewirkt das Signal dann eine spezifische Elektrostimulation. Dabei

wird das Cochleaimplantat in einem Knochenbett hinter dem Ohr unter der Haut implantiert, die Elektroden kommen intracochleär zum Liegen. Vor der Implantation muss geprüft werden, ob sich der Patient für ein solches CI eignet, hierbei ist unter anderem auch eine präoperative Bildgebung (laut Leitlinie CT oder MRT) nötig [33, 69].

Unter einer Schallempfindungsschwerhörigkeit werden Hörstörungen verstanden, die durch Innenohr- und/oder Hörnervschädigung bedingt sind [33]. Erfolgt aufgrund einer solchen Schallempfindungsschwerhörigkeit eine ein- oder beidseitige operative Versorgung mit einem Cochleaimplantat, so ist laut Leitlinie anschließend eine postoperative Lagekontrolle notwendig, wobei nicht zwischen verschiedenen radiologischen Modalitäten differenziert wird [33]. Hierbei soll die Lage der Elektroden visualisiert und beurteilt werden. Diese postoperative Bildgebung ist auch mittels DVT möglich [11] und bietet aufgrund geringerer Artefakte und minimierter Strahlendosis weitere Vorteile [38]. Dahmani-Causse et al. berichten über die mögliche Visualisierung der Innenohrstrukturen einschließlich Cochlea und Scala vestibuli durch die DVT [23].

Aschendorff et al. führten in ihrer Studie einen Vergleich zwischen CT und DVT bei der postoperativen radiologischen Lagekontrolle nach Implantation eines CI durch. In dieser Studie wurden Felsenbeinmodelle mit Cochleaimplantaten versehen, anschließend wurden Bildgebungen mittels ‚single-slice-CT‘, ‚multi-slice-CT‘ und DVT durchgeführt um die intracochleäre Lage zu beurteilen. Während im single-slice-CT aufgrund großer Artefakte durch die Elektroden kaum eine Lagebestimmung im Modell möglich war, zeigte sich, dass eben diese Artefakte bei Bildgebungen durch MSCT geringer ausfielen. Allerdings wiesen die Autoren darauf hin, dass die exakte Beurteilung durch MSCT beim Patienten kaum möglich sei. Bei der Lagekontrolle durch die DVT zeigten sich nur sehr geringe Artefakte und eine exakte intracochleäre Lage der Elektroden konnte festgestellt werden, so dass die DVT dem CT in der Lagekontrolle überlegen ist [5]. In einer weiteren Studie von Aschendorff et al. erhielten 18 Patienten mit CI-Versorgung postoperativ eine Lagekontrolle mittels DVT. Auch hier konnte gezeigt werden, dass sich die DVT zur Qualitätskontrolle der CI-Versorgung eignet [6].

Weitere Studien zur postoperativen DVT nach CI-Implantation am Patienten wurden durchgeführt. So auch Ruivo et al., sie berichteten, dass eine präzise Lagebeurteilung der Elektroden mit Bezug auf den Modiolus und die Scala tympani möglich sei. Außerdem wiesen sie darauf hin, dass viele der CI-Patienten Kinder oder Jugendliche seien und durch nötige follow-up Untersuchungen noch weitere radiologische Bildgebungen im Laufe ihres Lebens auf sie zukommen. Aus diesen Gründen sei die Minimierung der Strahlendosis von großer Bedeutung, was durch die Untersuchung mittels DVT erreicht werden könne. Sie berichten von einer Strahlendosis beim DVT mit 80uSV und beim MSCT von 3600uSV [100].

Einschränkend erwähnt Kurzweg et al., dass durch die DVT keine Beurteilung von Weichteilgewebe und damit keine Beurteilung von intraoperativen Verletzungen in diesem Bereich möglich sei [69]. Güldner et al. zeigten außerdem, dass etwa 50% des radiologisch bestimmten Elektrodendurchmessers Artefakt sei und zusätzlich keine Aussage über die Lage in medialen und apikalen Cochleawindungen getroffen werden könne [56, 57].

Diese Vielzahl an Studien zum Thema DVT und Cochleaimplantat bzw. Bildgebung der Laterobasis verdeutlicht die Aktualität und Wichtigkeit dieses Themas. Auch am Universitätsklinikum Marburg hat die postoperative Lagekontrolle mittels DVT nach CI-Implantation aufgrund der präzisen Untersuchungsergebnisse und der geringeren Strahlenbelastung Einzug in die klinische Routine erhalten. Somit sollte in der vorliegenden Studie bei 25 Patienten eine Lagekontrolle des CI mittels DVT erfolgen, damit besetzt diese Indikation zusammen mit der Schallleitungsschwerhörigkeit den 3. Platz der rechtfertigenden Indikationen bei Bildgebungen der Laterobasis mittels DVT im Kindesalter. Diese Kontrolle erfolgte entweder postoperativ oder bei vermuteter Elektrodendislokation. Bei 3 Patienten musste eine Wiederholung der DVT Aufnahme durchgeführt werden, da die primäre Aufnahme verwackelt war. Weitere Bildgebungen wurden nicht durchgeführt. Damit kann auch durch diese Arbeit der suffiziente Einsatz der DVT zur CI-Lagekontrolle bestätigt werden. Bei Beurteilungen von Weichteilgewebe sollte allerdings auf eine MRT oder CT zurückgegriffen werden.

5.2.1.4 Schallleitungsschwerhörigkeit

Die Schallleitungsschwerhörigkeit (SLS) begründet sich auf eine Pathologie des äußeren Gehörgangs oder des Mittelohres. Im Kindesalter ist sie häufig passager und durch Tubenbelüftungsstörungen oder Otitis media begründet, sie kann allerdings auch permanent als Folge eines angeborenen oder erworbenen Defektes im Gehörgang oder Mittelohr auftreten [37]. In diesem Datensatz ist die SLS neben der Lagekontrolle bei Cochleaimplantat die 3. häufigste Indikation bei Felsenbein-Darstellungen. Insgesamt wurden bei 25 Patienten DVT-Aufnahmen der Laterobasis mit dieser Indikation gefahren. Bei einem Patienten wurde eine zusätzliche Bildgebung durchgeführt, da die ursprüngliche DVT-Aufnahme nicht ausreichend beurteilbar war. In der zusätzlichen Bildgebung zeigte sich eine auffällige Anatomie des Mittelohres. Bei einem weiteren Patienten musste eine Wiederholungsaufnahme mittels DVT gefahren werden, da die primäre Aufnahme verwackelt war. Es ist anzunehmen, dass die DVT-Aufnahme bei allen 25 Patienten zur Detektion bzw. zum Ausschluss von Mittelohrpathologien bei sonst unklarem klinischen Befund diene.

Die suffiziente Darstellbarkeit der Mittelohrstrukturen mittels DVT wurde bereits in den Kapiteln 4.1.2.1 und 4.1.2.2 anhand verschiedener Studien dargelegt. Auch bei der Diagnostik der SLS spielt die Bildgebung eine große Rolle. Dabei hat auch hier die CT die herkömmliche Radiographie abgelöst [37]. Allerdings wird in einer Studie von Dalchow et al. zur Mittelohrbildgebung bei SLS beschrieben, dass besonders die feinen Strukturen der Ossikel im CT nicht ausreichend präzise dargestellt werden können. Es wurden daraufhin DVT-Aufnahmen bei 25 Patienten mit SLS zur Diagnostik angefertigt. In allen Aufnahmen waren die Ossikel detailgetreu dargestellt, so dass eventuelle Erosionen oder Malformationen gut beurteilt werden konnten. Die SLS-bewirkende Pathologie (Bsp: Cholesteatom, Tumor, Otitis media) konnte diagnostiziert werden, woraufhin mit dieser Aufnahme eine eventuelle OP-Planung suffizient möglich war. Letztendlich kam Dalchow zu dem Schluss, dass die DVT das Potential zur Hauptbildgebungsmethode der Laterobasis habe [25]. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von Bitterwolf et al. In dieser Studie sollte die Darstellungsqualität verschiedener Strukturen evaluiert werden, darunter fielen auch das Hammer-Amboß-Gelenk, das Stapesköpfchen sowie der vorderer

und hintere Stapesschenkel. Die Darstellungsqualität dieser Strukturen wurde mit gut bewertet, dabei ist anzumerken, dass in der Studie dasselbe DVT-Gerät wie in der vorliegenden Studie benutzt wurde. Dahmani-Causse et al. zeigten beim Vergleich von MSCT und DVT einen signifikanten Unterschied in der Laterobasisbildgebung, wobei besonders die feinen Mittelohrstrukturen wie die Ossikel im DVT präziser dargestellt wurden [23]. Anhand dieser Studien sollten die Fragestellungen bezüglich einer vorliegenden SLS mittels DVT hinreichend beantwortet werden können.

Zur Therapie der SLS kann eine Ossikelimplantation nötig sein, hierbei kann eine postoperative Lagekontrolle nötig sein. Die CT-Bildgebung lässt oft keine ausreichende Beurteilung des Implantates aufgrund von implantatbedingten Artefakten zu. Erst mittels DVT konnte die korrekte Implantatlage im Mittelohr und die Ossikelintegrität visualisiert werden. Offergeld et al. führten zum Vergleich von CT und DVT eine Studie an 10 Felsenbeinmodellen mit Ossikelimplantaten durch. Fazit dieser Studie war, dass die Implantatdarstellung und Lagebeurteilung mittels DVT weniger Artefakte zeigte und dadurch eine bessere Beurteilung möglich war [93]. Faccioli et al. führten ebenfalls einen Vergleich zwischen CT und DVT an 100 Patienten mit Mittelohrimplantaten durch. Auch hier wird bei der DVT von einer präzisen Lagekontrolle bei geringerer Strahlenbelastung gesprochen [45].

Anhand dieser Studie und Berücksichtigung der vorgestellten Studien konnte gezeigt werden, dass die DVT bei dem klinischen Bild der Schallleitungsschwerhörigkeit angewandt werden kann, um Pathologika im Bereich des Mittelohres aufzudecken. Dabei bietet die DVT neben der CT und MRT eine geeignete Alternative. Entsprechende Änderungen und Aktualisierungen der betreffenden Leitlinien sind daher zu erwarten. In der Leitlinie zur chronisch mesotympanalen Otitis media, welche eine SLS begründen kann, wurde die DVT bereits als Alternative zum CT aufgenommen [35].

5.2.1.5 Otitis media acuta und Mastoiditis

Die Otitis media acuta (AOM) ist eine häufige Erkrankung im Kindesalter, die Diagnostik stützt sich im Wesentlichen auf die klinische Präsentation und

Untersuchung, bildgebende Verfahren werden primär zur Diagnostik von Komplikationen verwendet, dabei wird meistens auf ein CT oder MRT verwiesen [113]. Eine der wichtigsten Komplikationen ist die Mastoiditis. Diese kann bei der AOM durch Fortleitung der Infektion aus der Paukenhöhle auftreten [31, 39]. Gefürchtet sind weitere Komplikationen durch die Mastoiditis wie Abszedierung, Meningitis oder Sepsis, weshalb eine frühe Diagnostik und adäquate Therapie besondere Bedeutung haben. Da diese Erkrankungen eng miteinander verknüpft sind, folgt im weiten Verlauf eine gemeinsame Analyse der Daten.

Bisher werden von der Strahlenschutzkommission als Bildgebungsmodalitäten bloß MRT und CT bei Pathologien welche das Felsenbein betreffen erwähnt [105]. Auch in der Diagnostik der Mastoiditis findet besonders die CT Anwendung [21]. Eine Studie durch Vasquez et al. beschreibt die gute Darstellbarkeit einer Mastoiditis mittels CT und die Anwendung einer MRT bei erwarteten intrakraniellen Prozessen [116]. Djerić et al. führten ebenfalls CT-Bildgebungen zur Diagnostik einer Mastoiditis durch, hierbei sollte u.a. die Pneumatisation des Mastoids oder knöchernen Destruktionen dargestellt werden [39]. Wie bereits in vorherigen Abschnitten erwähnt, können besonders die knöchernen Strukturen und die Pneumatisation des Felsenbeins, aufgrund der starken Knochen-Luft-Kontraste, suffizient dargestellt werden, weshalb sich die DVT auch zur Diagnostik einer Mastoiditis eignet. Dies wird durch verschiedene bereits vorgestellte Studien [11, 24, 25] und durch den hier vorliegenden Datensatz bestätigt. Mit der rechtfertigenden Indikation einer akuten Otitis media wurde bei 13 Patienten eine DVT Aufnahmen angefertigt, es wurden keine Wiederholungen oder zusätzliche Bildgebungen gefahren. Die Bildgebung diente dabei dem Ausschluss einer Mastoiditis bzw. der Beurteilung der Pneumatisation des Felsenbeins/Mastoids. Bei weiteren 17 Patienten wurde eine DVT-Aufnahme bei dem klinischen Verdacht einer vorliegenden Mastoiditis zur Visualisierung der knöchernen Anatomie angefertigt. Auch hier waren keine Wiederholungsaufnahmen nötig. Bei einem Patienten wurde eine weitere Bildgebung durchgeführt, welche jedoch keine weiteren Informationen lieferte. Besonders wegen der geringeren Strahlenexposition im Vergleich zum CT sollte deshalb das DVT als Methodik der Knochenbildgebung überdacht werden. Bezüglich der Otitis media acuta gibt es ein Vorhaben eine neue AWMF-Leitlinie

zu etablieren, diese soll voraussichtlich 2019 fertiggestellt werden. Inwieweit die DVT hier insbesondere zur Diagnostik von Komplikationen Anwendung findet, bleibt abzuwarten.

5.2.1.6 Fehlbildung Ohr

Unter der Indikation ‚Fehlbildung Ohr‘ wurden sowohl erwartete Fehlbildungen des äußeren Ohres und äußeren Gehörgangs als auch Fehlbildungen im Bereich Mittel.- und Innenohr zusammengefasst. Es wurden 12 DVT-Aufnahmen aufgrund dieser Indikation gefahren. Durch weitere Analyse der klinischen Informationen war ersichtlich, dass die Anlageüberprüfungen von Mittel und Innenohr, die Detektion dysplastischer Fehlbildungen oder eine Darstellung der Felsenbein-anatomie die Fragestellung war. Durch die DVT-Bildgebung konnten Gehörgangs-atresien, Mittelohranomalien und verformte Ossikel sowie Cochleadysplasie nachgewiesen werden. Wiederholungsaufnahmen waren in diesem Kollektiv nicht notwendig. Allerdings wurden bei 3 Patienten weitere Bildgebungen durchgeführt. In zwei Fällen war hierdurch kein Informationsgewinn zu verzeichnen, da keine pathologische Veränderung diagnostiziert wurde. Bei dem anderen Fall wurde durch die DVT-Aufnahme auf dem rechten Ohr eine Cochleadysplasie festgestellt, welche durch die weitere Bildgebung auf dieser Seite bestätigt und auf der anderen Seite diagnostiziert wurde. Daher ist aus der Analyse des recht kleinen Datensatzes zu vermuten, dass durch die DVT eine ausreichende Beurteilung der anatomischen Gegebenheiten möglich ist und diese eventuell bei anschließender Vermutung einer beidseitigen Pathologie durch die CT ergänzt werden kann.

Diese Beobachtungen decken sich mit den zuvor beschriebenen Kapiteln und vorgestellten Studien, da bereits erläutert wurde, dass mittels DVT eine gute und präzise Beurteilung von Mittel.- und Innenohrstrukturen, wie die Beurteilung der Ossikel, der Cochlea oder des knöchernen Gehörgangs möglich ist [11, 23–25]. In der Studie von Dahmani-Causse et al. konnten verschiedene Fehlbildungen der Laterobasis mittels MSCT und DVT diagnostiziert werden, wobei bei teils überlegener Bildqualität feiner knöcherner Strukturen und bei geringerer Strahlendosis auf die DVT verwiesen wird [23]. Dies bezieht sich fast

ausschließlich auf die Darstellung knöcherne Pathologika. Zur Diagnostik von Fehlbildungen wird durch Greess et al. besonders die CT hervorgehoben, wobei auch die MRT bei Weichteilpathologien an Bedeutung gewinne, die DVT bleibt in dieser Studie unberücksichtigt [52]. Sind beidseitige Felsenbeinaufnahmen nötig, so kann erwogen werden, eine CT durchzuführen, da mittels DVT aufgrund der FOV-Größe zwei einzelne Aufnahmen nötig wären, während im CT eine Aufnahme beide Seiten abbilden kann. Letztendlich sollte dabei der maximal mögliche Informationsgewinn bei minimaler Strahlendosis die Grundlage der Entscheidung zwischen CT und DVT sein.

5.2.1.7 Einzelne Indikationen Felsenbein

Es wurden in dieser Studie weitere Daten von Felsenbeinaufnahmen ermittelt, da das Patientenkollektiv dieser einzelnen Indikationen relativ klein ist, sollen diese folgend zusammen diskutiert werden.

Bei den meisten Erkrankungen geht es um die Visualisierung der knöchernen Anatomie, dadurch sollen Erosionen, Raumforderungen, Fehlbildungen oder Implantate beurteilt werden.

Für den Bereich des Innenohres lagen in dieser Studie neben der Lagekontrolle eines CI andere Indikationen wie die Innenohrschwerhörigkeit (IOS) bei 9 Patienten oder die Diagnostik bei unklarem Schwindel bei 2 Patienten vor. Dabei sollte die Innenohranatomie visualisiert werden und damit die Ursache der Erkrankung diagnostiziert werden oder ein Therapieplan erstellt werden. Studien zeigten auch für die Innenohrdarstellung eine gute Anwendungsmöglichkeit der DVT [24, 25, 69].

Bei 7 Patienten wurde eine Raumforderung im Gehörgang und bei einem Patienten eine Raumforderung am Ohr vermutet. Mit Hilfe der DVT konnten diese visualisiert werden, so dass keine weiteren Bildgebungen nötig waren. Eine weitere Abklärung bezüglich der Histologie oder eine Operation folgten auf die Bildgebung.

Bei 6 Patienten war die ‚unklare Otalgie‘ Grund für die Bildgebung. Dies überschneidet sich mit zuvor beschriebenen Indikationen wie Cholesteatom,

COMM, akute Otitis media oder Mastoiditis, da all diese Krankheitsbilder eine Otalgie als Symptom mit sich führen können.

4 Patienten erhielten eine DVT-Aufnahme der Laterobasis aufgrund eines vorausgegangenen Traumas. Dabei sollten insbesondere die Mittelohrstrukturen näher beurteilt werden, um eine eventuell verursachte Ossikelluxtion zu detektieren. Die präzise Beurteilbarkeit der Ossikel anhand einer DVT-Aufnahme wurde bereits in Kapitel ‚Otitis media chronica epitympanalis und Otitis media chronica epitympanalis‘ anhand von Studien dargelegt [24, 25], so dass auch zur posttraumatischen Kontrolle eine DVT eingesetzt werden kann.

Auch zur postoperativen Kontrolle nach einer Tympanoplastik wurde die DVT in dieser Studie bei 3 Patienten eingesetzt. Unter Tympanoplastik wird die Rekonstruktion von Trommelfell und der Ossikel verstanden, dabei können die Ossikel partial (PORP) oder total (TORP) ersetzt werden und entzündliche Prozesse können radiziert werden. Die suffiziente Darstellung der Mittelohrstrukturen durch die DVT wurde bereits mehrfach erwähnt und soll hier nicht weiter dargestellt werden. Auch die gute Darstellbarkeit von Implantaten, welche im Vergleich zum CT weniger Artefakte aufweist, wurde in Abschnitt ‚Lagekontrolle Cochleaimplantat‘ vorgestellt. Durch mehrere Studien konnte gezeigt werden, dass sich die DVT auch zur postoperativen Lagekontrolle oder bei dem Verdacht einer Dislokation bei einer Tympanoplastik eignet [18, 92, 93, 120]

5.2.1.8 Fazit Indikationen Felsenbein

Anhand der Darstellung der Indikationen in dieser Studie und durch die Erläuterung anderer Studien wird deutlich, dass die Verwendung und mögliche Einsatzgebiete des DVT ein hoch aktuelles Thema ist. Es konnte gezeigt werden, dass sich die DVT für viele Indikationsgebiete der Laterobasis eignet, so dass auch kleinste knöcherne Strukturen oder Implantate visualisiert und beurteilt werden konnten. Bei der COMM hat die DVT schon Einzug in die 2014 aktualisierte Leitlinie erhalten. Zum Thema Mittel- und Innenohrimplantate wurden bereits viele Studien durchgeführt und ein suffizienter Einsatz beschrieben, aber abschließende Beurteilungen oder Änderungen der Leitlinie

sind abzuwarten. In anderen Bereichen fällt die bisherige Studienlage gering aus, so dass weitere Studien zur Anwendbarkeit der DVT nötig sind. Allerdings bleibt zu berücksichtigen, dass bei der Notwendigkeit einer beidseitigen Felsenbein-Darstellung zwei einzelne DVT-Aufnahmen nötig sind. Aufgrund der Strahlenexposition durch die DVT muss die rechtfertigende Indikation immer überprüft und eng gestellt werden. Dabei sollte auch die CT oder die MRT als Alternative mit in die Überlegung einbezogen werden. Gerade für die DVT-Anwendung im Kindesalter existieren bislang kaum Studien, sodass hier ebenfalls Forschungsbedarf besteht.

5.2.2 Indikationen NNH

5.2.2.1 Verdacht auf Mittelgesichtsfraktur

Vor der eigentlichen Erläuterung der Indikation ‚Vd. auf Mittelgesichtsfraktur‘ erfolgt eine Darstellung, inwieweit eine Beurteilung der Frontobasis mittels DVT möglich ist, dies soll mit Hilfe von Studien beleuchtet werden.

Bei der Bildgebung der Frontobasis spielt häufig die Beurteilung des knöchernen Nasengerüsts eine wichtige Rolle, dabei bietet die DVT eine gute Visualisierungsmöglichkeit [11, 12, 74]. In der Orientierungshilfe für bildgebende Verfahren der Strahlenschutzkommission findet die DVT bisher keine Erwähnung für den Bereich der Frontobasis, hier wird vielmehr auf die CT, MRT und teilweise auch auf die konventionelle Radiographie verwiesen, eine Radiographie soll jedoch nur durchgeführt werden, wenn eine CT nicht verfügbar ist [105]. Demgegenüber wird die alleinige Darstellung mittels konventioneller Radiographie in der Kopf-Bildgebung in Studien u.a. als unzureichend beschrieben und sie könne zu falschen diagnostischen Entscheidungen führen, dies liege häufig an Projektionsartefakten [22, 28, 104]. Die CT wird zur Darstellung der NNH als Goldstandard beschrieben, viele anatomische Strukturen seien gut zu beurteilen jedoch sei die Strahlenexposition relativ hoch [12, 54]. Durch die Entwicklung der DVT wurde eine weitere Darstellungsmethode für die Abbildung von Hochkontrasten geschaffen. Für die Anwendung im Bereich der Frontobasis war die DVT anfangs aufgrund einer relativ kleinen FOV-Größe von 6x6cm nur unzureichend, da die ROI oft inkomplett dargestellt wurde. Mit Einführung von größeren FOV (bis zu

12x17cm) in 2008 ist die komplette Darstellung der ROI auch im Bereich der Frontobasis meist möglich [12]. Zwei Studien durch Bremke et al. konnten zeigen, dass wichtige anatomische Landmarken der Frontobasis in der DVT gut zu visualisieren sind: Agger-nasi-Zellen, Processus uncinatus (Verlauf und kraniale Ansatzpunkte), Recessus frontalis, Infundibulum, Bulla ethmoidalis, Verlauf der mittleren Nasenmuschel, A. ethmoidalis anterior im Verhältnis zum Siebbeindach sowie die Keilbeinhöhle mit möglicherweise dehiszentem Canalis caroticus und Canalis opticus. Außerdem wurde die FOV-Größe getestet, indem auch die knöcherne Begrenzung des Sinus maxillaris und die Hinterwand des Sinus sphenoidalis dargestellt werden sollten. Durch die präzise Darstellung der Anatomie seien mikrochirurgische Eingriffe besser und sicherer durchzuführen [11, 12]. Ähnliche Ergebnisse brachte auch eine Studie von Bitterwolf et al. hervor, in welcher die Darstellungsqualität in DVT-Aufnahmen folgender anatomischer Landmarken der Frontobasis unter Variation der Strahlendosis bewertet wurde: Lamina papyracea, Lamina cribrosa, Lamina lateralis fossa olfactoria, Arteria ethmoidalis anterior, Foramen rotundum, knöcherne Begrenzung des Nervus opticus, Knöcherne Begrenzung der Kieferhöhle, Processus uncinatus, Os turbinale der conchanasalis inferior, knöcherne Begrenzung des N. infraorbitalis, Lamina papyracea (auf Höhe der A. ethmoidalis), Arteria ethmoidalis posterior, Canalis nervus vidianus, Knöcherne Begrenzung der Carotis interna, Stirnhöhlenhinterwand, Septum nasi, Tränen-Nasen-Kanal. Die Analyse erfolgte an demselben Gerät wie in der vorliegenden Arbeit. Es konnte gezeigt werden, dass all diese Strukturen präzise abgebildet wurden [9]. Letztendlich bietet die DVT durch geringere Strahlenexposition, einfache Durchführbarkeit und geringere Kosten bei gleicher oder überlegener Bildqualität von Hartkontrasten eine gute Alternative zum CT [20], wobei beachtet werden muss, dass einige Autoren die Anwendung aufgrund der sitzenden Position beispielsweise bei kleinen Kindern oder Traumapatienten einschränken [12, 54]. Auch im Bereich der Frontobasis ist aufgrund der Gerätetechnologie keine Weichteildarstellung mittels DVT möglich [85], so dass eventuelle Weichteilschäden nicht detektiert werden können. Ist ein Weichteilschaden zu vermuten, sollte eher auf eine CT (hohe Strahlenbelastung)

oder besser eine MRT (keine Strahlenbelastung) zurückgegriffen werden [20, 104].

Eine wichtige Anwendungsmöglichkeit der DVT ist die Diagnose bzw. der Ausschluss von Frakturen im Bereich des Gesichtsschädels [18, 104]. Da der Gesichtsschädel gleichzeitig auch eine funktionelle Einheit mit dem Hirnschädel bildet, können Frakturen im Bereich des Mittelgesichts neben ästhetischen Folgen auch zu zentralnervösen Komplikationen oder funktionellen Einbußen führen, aus diesem Grund ist eine sichere Diagnosestellung von großer Bedeutung [22]. Eine häufig vorkommende Fraktur in diesem Bereich ist die Nasenbeinfraktur. Diese können teilweise ohne Kreptationen oder Dislokationen einhergehen, besteht trotzdem der Verdacht auf eine Fraktur ist zur sicheren Diagnostik eine Bildgebung notwendig. Dabei kann durch eine konventionelle Projektionsradiographie, welche noch die Standardmethode ist [13], nicht immer eine tatsächlich bestehende Fraktur nachgewiesen werden, weshalb diese Technik nicht ideal erscheint und bis zu 50% der Frakturen unentdeckt bleiben [13, 20, 91]. Im Gegensatz dazu, kann durch eine CT eine solche Fraktur oft gut dargestellt werden, allerdings ist die Strahlenexposition im Vergleich zur Projektionsradiographie deutlich höher, damit beispielsweise auch kleinste Fissuren erkannt werden können [22]. Um die Anwendungsmöglichkeit der DVT zur Diagnostik von Nasenbeinfrakturen zu eruieren, führten Bremke et al. eine DVT-Bildgebung bei 65 Patienten mit Nasenbeinfrakturen durch. Bei 5 dieser Patienten wurde vorher eine Röntgenaufnahme angefertigt, welche keine Zeichen einer Fraktur aufwies, durch die DVT wurden allerdings in diesen 5 Fällen und bei den weiteren Studienteilnehmern Nasenbeinfrakturen nachgewiesen. Letztendlich beschreiben die Autoren die überlegene Bildqualität und geringere Strahlenexposition durch die DVT im Vergleich zum CT, bei gleichzeitig unzureichender Aussagekraft der konventionellen Radiographie. Außerdem sei das Indikationsgebiet nicht nur auf Nasenbeinfrakturen sondern auf Mittelgesichtsfrakturen im Allgemeinen auszuweiten[13]. Die DVT wird neben der CT als Bildgebungsmethode der Wahl in der Leitlinie zu lateralen Mittelgesichtsfrakturen, worunter auch eine Orbitabodenfraktur fallen kann, genannt [121]. Drage et al. beschäftigten sich in ihrer Studie mit dem Einsatz der DVT bei isolierten Orbitabodenfrakturen. Werde eine Orbitabodenfraktur

klinisch in Betracht gezogen, so sei eine radiologische Diagnostik essentiell, hierbei sei die CT noch die Standardmethode. In ihrer Studie kamen sie zu dem Schluss, dass die DVT zur Beurteilung von Orbitabodenfrakturen gut geeignet sei, auch wenn damit keine Weichteilvisualisierung möglich sei [40]. In anderen Studien wird die Abbildungsqualität von Orbitabodenfrakturen durch die DVT über die Qualität der CT-Bildgebung gestellt [20, 104].

Da der Verdacht auf eine Mittelgesichtsfraktur in diesem Patientenkollektiv die häufigste Indikation für eine DVT war, sollen diese in Bezug auf die Pädiatrie näher dargestellt werden. Eine Studie durch Alcalá-Galiano et al. zeigte anhand von 262 Patienten mit verschiedenen Mittelgesichtsfrakturen, dass die Nasenbeinfraktur die häufigste im Kindesalter ist, während Orbitabodenfrakturen vergleichsweise selten auftreten. Dabei steige die Anzahl der Frakturen mit dem Alter des Kindes an, so dass es einen Alterspeak zu Beginn der Schulzeit (6-7 Jahre) und einen weiteren mit Beginn der Pubertät (12-14 Jahre; mehr Sport etc.) gab. Im Kleinkindesalter seien Mittelgesichtsfrakturen eher untypisch. Durch die anatomischen Besonderheiten bedingt durch Gesichtswachstum und die Entwicklung der NNH sei die Diagnosestellung auch durch bildgebende Verfahren erschwert, weshalb statt einer Radiographie oft eine CT durchgeführt werde. Dabei sei jedoch die Strahlenbelastung recht hoch [1], so dass die DVT mit ihrer präzisen Darstellung bei geringerer Strahlung eine weitere Möglichkeit sei, um die noch unterdiagnostizierten Mittelgesichtsfrakturen sicherer zu detektieren.

Auch mittels Ultraschall kann ein Teil der Mittelgesichtsfrakturen suffizient dargestellt werden. Der Vorteil hierbei liegt vor allem in der fehlenden Strahlenexposition, flächendeckender Verfügbarkeit und relativ einfacher Anwendbarkeit für erfahrene Untersucher. Dabei ist die Sonographie der konventionellen Radiographie überlegen und liefert vergleichbare Ergebnisse mit der CT bei einfachen Frakturen. Außerdem kommen mittels Sonographie auch Knorpelschäden zur Darstellung. [1, 72, 64, 86]

Hong et al. nutzten in ihrer Studie zur Diagnostik von Nasenbeinfrakturen bei Kindern als erstes diagnostisches Verfahren die Sonographie. In ihrer Studie wurden 26 Kinder mit Verdacht auf eine Mittelgesichtsfraktur eingeschlossen. Resultierend aus ihrer Studie empfehlen Hong et al. die Sonographie als

Screeningmethode bei Verdacht auf Nasenbeinfrakturen/Nasenseptumverletzungen, bei dem Verdacht auf komplexe Frakturen oder zusätzliche Frakturen des Mittelgesichts empfehlen die Autoren die zusätzliche Bildgebung mittels CT [62].

In der vorliegenden Arbeit war der Verdacht auf eine Mittelgesichtsfraktur mit 60,4% (n=206) mit Abstand die häufigste Indikation bei Bildgebungen der Frontobasis und im Gesamtkollektiv (37,18% im Gesamtkollektiv). Es musste keine zusätzliche Bildgebung durchgeführt werden, da die Beurteilung durch die DVT möglich war. In insgesamt 11 Fällen wurde eine Wiederholung notwendig, da die primäre Aufnahme bei 6 Patienten verwackelt war und bei 5 Patienten die ROI inkomplett abgebildet wurde. Da sich die Möglichkeiten der FOV-Einstellungen in 2008 geändert haben und ein FOV von 6x6cm durch Bremke et al. als oft unzureichend beschrieben wurde [12, 101], soll dies hier näher beleuchtet werden: bei 2 Patienten mit inkompletter Aufnahme wurde ein FOV von 6x6cm gewählt, bei einem Patienten 8x8cm und bei weiteren 2 Patienten kam es trotz relativ großem FOV von 10x10cm zur inkompletten Darstellung der ROI. Bremke et al. verwiesen darauf, dass mit einem FOV von 10x10cm eigentlich alle interessierenden Strukturen abgebildet werden können und dies zur Abbildung der Frontobasis die Standardeinstellung sein sollte [11]. In dieser Studie war die Nasenbeinfraktur die häufigste Fraktur im Bereich des Mittelgesichts, dies deckt sich auch mit anderen Studien [3]. In 2 Fällen handelte es sich nicht um eine Nasenbeinfraktur sondern um eine Orbitabodenfraktur, diese konnte bei einem Patienten sicher ausgeschlossen werden, bei dem anderen bestätigt werden, woraufhin eine operative Versorgung folgte. Auch bezüglich des Alters zeigten sich ähnliche Ergebnisse wie in der Studie von Alcala-Galiano et al.. In dem vorliegenden Datensatz ergaben sich 3 Alterspeaks, der erste lag zwischen 5-7 Jahren, der zweite bei 9-11 Jahren und der dritte Peak lag bei 13-15 Jahren. Aus diesen Ergebnissen lässt sich folglich entnehmen, dass die DVT einen hohen diagnostischen Wert bezüglich der Mittelgesichtsfrakturen hat. Anhand der hohen Fallzahl in diesem Kollektiv lässt sich außerdem schließen, dass die DVT am Uniklinikum Marburg bereits in der klinischen Routine zur Diagnostik von Mittelgesichtsfrakturen eingesetzt wird. Es ist anzunehmen, dass sie auch flächendeckend als Standardbildgebung die

konventionelle Radiographie ablösen wird und in Bezug auf die CT aufgrund der geringeren Strahlenexposition eine gute Alternative bietet. In der Leitlinie zur Orbitabodenfraktur (bzw. lateralen Mittelgesichtsfrakturen) ist die DVT bereits fester Bestandteil [121]. Die Abbildung der NNH und der schädelbasisnahen knöchernen Strukturen ist laut Leitlinie zur Rhinosinusitis gut möglich [32].

5.2.2.2 Nasenatmungsbehinderung und chronische Rhinosinusitis

Das Symptom der Nasenatmungsbehinderung (NAB) und die akute/chronische Rhinosinusitis sind eng miteinander verbunden. Die NAB kann durch eine Vielzahl von Differentialdiagnosen verursacht werden. Sie kann einerseits Symptom der Rhinosinusitis sein [32, 51, 99], andererseits ist häufig neben vielen weiteren Ursachen eine Vergrößerung der unteren Nasenmuschel oder eine Nasenscheidewandverschiebung die Ursache [88, 99]. Bei Kindern sollte immer an einen möglichen Fremdkörper im Nasenbereich, vergrößerte Adenoide oder an eine allergische Genese gedacht werden. Sind anatomische Varianten als Ursache der NAB zu erwarten, so lässt sich die Anwendbarkeit der DVT sehr gut erklären, denn wie bereits oben erwähnt, sind eine Vielzahl von (knöchernen) Landmarken der Frontobasis und damit auch des Nasengerüsts sehr präzise zu visualisieren [9, 12]. Auch für eine eventuelle operative Therapie ist eine präoperative Bildgebung nötig. Jedoch sollte zunächst großer Wert auf die klinische Diagnostik gelegt werden und eine konservative Therapie induziert werden. Erst wenn diese Maßnahmen ausgeschöpft sind und der Leidensdruck hoch ist, ist eine Strahlenexposition zu vertreten, wobei je nach Fragestellung auch eine MRT in Erwägung gezogen werden sollte.

Neben der Traumadiagnostik ist die Sinusitis eine der häufigsten Bildgebungsindikationen im Bereich der Frontobasis [28]. In der 2011 aktualisierten Version der Leitlinie zur Rhinosinusitis wird die Diagnostik folgendermaßen beschrieben: Handelt es sich um eine akute Sinusitis so stützt sich die Diagnose meist ausschließlich auf klinische Aspekte. Zur Diagnostik von möglichen Komplikationen oder der chronischen Rhinosinusitis ist ein endoskopischer Befund oder ein Schnittbildverfahren Voraussetzung. Die Bildgebung dient einerseits zur Darstellung der Anatomie, um Sinusitis-begünstigende Varianten zu erkennen, andererseits zur Planung einer eventuell

nötigen operativen Therapie. Die konventionelle Röntgenaufnahme wird in dieser Leitlinie nicht mehr empfohlen, da sie verglichen mit der CT-Bildgebung in bis zu 1/3 der Fälle falsch negative Befunde aufwies. Auch andere Arbeiten beschreiben, dass der diagnostische Wert der konventionellen Radiographie deutlich unter der CT liege [17, 51]. Die CT wird als Standardverfahren angesehen, wobei die Strahlenexposition zu beachten sei und die Symptomatik oft nicht mit dem Bildgebungsbefund korreliere. Die CT solle bei Kindern nur nach enger Indikationsstellung oder beispielsweise bei dem Verdacht auf eine Orbitaphlegmone in Low-Dose-Technik angefertigt werden [105]. Die DVT findet ebenfalls in der Leitlinie Erwähnung. Sie wird als Alternative zur CT genannt und als gleichwertig bewertet, allerdings seien abschließende Beurteilungen nötig [32]. Auch in der Leitlinie der Deutsche Gesellschaft für Allgemeinmedizin und Familienmedizin zur Rhinosinusitis wird eine CT-Untersuchung bei dem Verdacht auf eine chronische Sinusitis im Kindesalter empfohlen, in dieser Leitlinie wird die DVT allerdings noch nicht berücksichtigt [30]. Durch die Bildgebung soll beispielsweise bei einer geplanten OP die Befundausdehnung beschrieben, anatomische Varianten benannt und Komplikationen erkannt werden [28].

Die MRT findet zur Bildgebung einer Sinusitis kaum Anwendung [28, 32].

Die Rhinosinusitis ist besonders im Kindesalter eine häufige Erkrankung. Durch die dünnen knöchernen Strukturen und die sich noch entwickelnden NNH kann es schneller zu Komplikationen v.a. an der Orbita kommen [47]. Da das Patientenkollektiv in der vorliegenden Arbeit ausschließlich aus Kindern besteht, soll die Entwicklung der NNH und die damit verbundenen Limitationen für die Bildgebung kurz dargestellt werden: Von den Nasennebenhöhlen ist zum Zeitpunkt der Geburt nur das Siebbeinzellsystem vollständig entwickelt, darauf folgt mit ca. 4 Jahren der Beginn der Pneumatisation des Sinus maxillaris und des Sinus sphenoidalis, als letztes wird die Stirnhöhle angelegt [107]. Mit ca. 12 Jahren sind die Sinus vollständig entwickelt [44]. Mack et al. beschreiben in ihrer Studie, dass aufgrund der sich noch in Entwicklung befindenden NNH bei Kindern unter einem Jahr eine Verschattung in der Radiographie als nicht pathologisch gewertet werden sollte. Andererseits könnten Verschattungen ab einem Alter von 3 Jahren als sicher pathologisch eingestuft werden. In der

dazwischenliegenden Altersgruppe sollte die Indikationen sehr streng gestellt werden, da aus der Aufnahme möglicherweise kein richtungsweisender Befund entnommen werden könne [82].

In dem vorliegenden Datensatz wurde bei 48 Patienten mit NAB und bei 41 Patienten mit Sinusitis eine DVT-Aufnahme durchgeführt. Zusätzliche Bildgebungen waren nicht notwendig. Bei 3 Patienten musste eine Wiederholung gefahren werden, da die ursprüngliche Aufnahme verwackelt war. Durch die jeweilige Aufnahme konnten anatomische Varianten und Fehlbildungen erkannt werden, die Sinusitis bzw. deren Komplikationen ausgeschlossen oder verifiziert werden und eine operative Planung erfolgen. In den 3 Jahren 2011, 2012 und 2013 wurden knapp die Hälfte der Aufnahmen gefahren, die andere Hälfte wurde in den 8 vorherigen Jahren angefertigt (2003-2010), wobei das Jahr 2013 nicht mehr vollständig ermittelt wurde. Demnach wurde die Änderung der Leitlinie und damit die DVT in die klinische Routine der Sinusitis-Diagnostik am Universitätsklinikum Marburg aufgenommen.

5.2.2.3 Persistierende Cephalgien

Insbesondere bei Kindern kommen bei dem Symptom Kopfschmerz eine Vielzahl von Differentialdiagnosen in Frage. Bei Kleinkindern sind Kopfschmerzen eher selten, werden sie dennoch wiederholt angegeben, so sollte laut Leitlinie für pädiatrische Bildgebung nicht gezögert werden und eine MRT durchgeführt werden [75]. In dieser Leitlinie wird außerdem darauf hingewiesen, dass vor allem die MRT Bildgebungsmethode der Wahl ist, da hiermit auch intrakranielle und vaskuläre Prozesse dargestellt werden können. Die CT sei vor allem bei traumatischen Kopfschmerzursachen, bzw. bei vermuteten Komplikationen einer Sinusitis oder Mastoiditis indiziert. Auch die deutsche Gesellschaft für Neurologie empfiehlt aufgrund des Strahlenschutzes bei den meisten kopfschmerzbedingenden Differentialdiagnosen eine MRT statt eine CT [36]. In beiden Leitlinien findet die DVT keine Erwähnung. Auch in die Orientierungshilfe für bildgebende Verfahren des Strahlenschutzes hat die DVT zur Diagnostik von Kopfschmerzen noch keinen Einzug erhalten, hier wird insbesondere bei

Kopfschmerzen im Kindesalter eine MRT empfohlen, nur wenn dieses nicht verfügbar sei, könne auf eine CT zurückgegriffen werden [105].

In dieser Studie wurden bei 20 (5,9% des Frontobasis-Kollektives) Patienten mit persistierender Cephalgie eine DVT durchgeführt. Wiederholungen oder zusätzliche Bildgebungen waren nicht notwendig. Bei weiterer Analyse der Daten aus dem klinischen Informationssystem war ersichtlich, dass bei 19 der 20 Patienten eine Sinusitis als Kopfschmerzursache vermutet wurde, bei dem anderen Patienten sollte bei bekannter Zyste des 4. Ventrikels und unklaren Beschwerden eine Zweitpathologie ausgeschlossen werden. Kopfschmerz ist ein häufiges Symptom der Sinusitis [30, 99]. Da die Abklärung der Sinusitis mittels DVT in dem vorherigen Kapitel behandelt wurde und die DVT bereits Bestandteil der Leitlinie Rhinosinusitis ist, soll dies hier nicht weiter ausgeführt werden.

5.2.2.5 Weitere einzelne Indikationen NNH

Bei den folgenden Indikationen war das jeweilige Patientenkollektiv relativ klein, so dass keine allgemeingültigen Aussagen getroffen werden können. Aus diesem Grund sollen sie nun gemeinsam besprochen werden.

Bei 8 Patienten war die rechtfertigende Indikation eine persistierende Rhinorrhoe, wobei nur das Symptom erfasst wurde und keine Zuordnung zu einem Krankheitsbild erfolgte. Rhinorrhoe kann ein Symptom von einer Vielzahl an Differentialdiagnosen sein, so dass sie beispielsweise infektiös, traumatisch, toxisch, allergisch oder tumorös bedingt sein kann [114]. Als Diagnosen nach der Bildgebung ergaben sich in der vorliegenden Arbeit folgende Möglichkeiten: 1x Concha bullosa (je nach Größe eine physiologische anatomische Normvariante), 2x Nachweis einer Sinusitis maxillaris, 3x Visualisierung der Anatomie mit anschließender operativer Behandlung und 1x die Diagnose einer Septumdeviation. Da keine zusätzliche Bildgebung erfolgte, kann angenommen werden, dass die DVT-Aufnahme genügend Informationen lieferte, so dass in 3 Fällen (37,5%) eine operative Sanierung folgte und in den anderen 5 Fällen (62,5%) eine konservative Therapie angestrebt wurde.

Die Rhinorrhoe ist ein häufiges Symptom der Sinusitis [32, 99]. Der DVT-Einsatz ist in der Leitlinie zur Rhinosinusitis fest etabliert [32], so dass diese 2 Fälle zu

dem obigen Kapitel , Nasenatmungsbehinderung und chronische Rhinosinusitis' gezählt werden können und der DVT-Einsatz bei dieser Indikation bereits dort diskutiert wurde. Die gute Visualisierung der knöchernen Strukturen der Frontobasis mit Hilfe der DVT wurde ebenfalls mehrfach erwähnt und lässt hier eine Rechtfertigung des DVT-Einsatzes zur Diagnose von anatomischen Varianten bzw. zur präoperativen Bildgebung zu [9, 12].

Bei 2 Patienten bestand das klinische Bild aus einer Schwellung im Bereich der Stirn, mittels DVT sollte ein sinugener Fokus ausgeschlossen werden. In einem Fall zeigte sich keine Pathologie, auch eine Sinusitis konnte ausgeschlossen werden. Bei dem zweiten Patienten wurden die frontal knöchernen Strukturen dargestellt, im Anschluss erfolgte eine zusätzliche Bildgebung mittels MRT, welche ebenfalls keine Pathologie zeigte. Auch bei den 5 Patienten mit der Indikation ,Fokussuche' sollte letztendlich der Status der NNH visualisiert werden. Bei 3 dieser Patienten erfolgte ein Sinusitisausschluss bei unauffälliger Anatomie, bei den anderen 2 Patienten wurde eine Sinusitis diagnostiziert. Bei einem Fall mit unauffälligem DVT-Befund wurde im Anschluss eine weitere Bildgebung durchgeführt, in welcher ein intrakutanes Hämangiom erkannt wurde.

Letztendlich ging es also bei den Indikationen ,Ausschluss sinugener Fokus', ,Fokussuche' und ,persistierende Rhinorrhoe' um die Beurteilung der knöchernen Strukturen der Frontobasis und um die Statuserhebung der Nasennebenhöhlen, beides wurde in den obigen Kapiteln diskutiert.

Bei 6 Patienten wurde eine Raumforderung im Bereich der Nasennebenhöhlen vermutet. Bei 2 Patienten konnte ein Choanalpolyp, bei einem Patienten eine knöcherne Destruktion bei Kieferhöhlenpapillom, einmal ein Keilbeinhöhlenpolyp, einmal eine Kieferhöhlenzyste und einmal ein Fibrom des Nasopharynx festgestellt werden. Da sich die DVT nicht zur Darstellung von Weichteilgewebe eignet, stellt sich die Frage, ob die DVT-Bildgebung zum Ausschluss einer Zweitpathologie durchgeführt wurde, oder ob es sich beispielsweise um einen Zufallsbefund handelte. Bei tumorösen Prozessen ist eine Klassifizierung nach dem TNM-Prinzip notwendig[22]. Hierbei wird auch die Infiltration von Knochen beurteilt, welche mit Hilfe einer DVT-Aufnahme dargestellt werden kann. Auch zur Bestimmung der Ausdehnung einer

Raumforderung kann die DVT herangezogen werden. Oft ist eine radikale operative Entfernung das Therapieziel, wofür eine präoperative Bildgebung benötigt wird. Dammann et al. beschreiben eine höhere Aussagekraft der DVT bezüglich der Beurteilung von Raumforderungen im Vergleich zur Radiographie, allerdings sei die MRT noch geeigneter. In einem Fallbericht durch Buric et al. sehen die Autoren den Vorteil der DVT darin, dass die DVT gleichzeitig die intrasinusale Raumforderung und die umgebene Anatomie der Nasennebenhöhlen darstellt [16]. Allerdings ist die Fallzahl zu klein und es existiert nicht genügend Literatur zum Thema ‚Raumforderung der NNH und DVT als Diagnostikum‘, um eine abschließende Empfehlung zu geben.

Das klinische Bild einer Tränenwegsstenose war bei 3 Patienten die rechtfertigende Indikation für eine Bildgebung mittels DVT, hierbei sollte eine knöcherne Pathologie ausgeschlossen werden. Bei einem Patienten konnte eine Tränenwegsstenose diagnostiziert werden, bei den anderen beiden Patienten wurde nur eine Visualisierung der Anatomie beschrieben. Eine Aufnahme musste wiederholt werden, da die ursprüngliche Bildgebung verwackelt war. Bitterwolf et al. beschreiben in ihrer Studie dass der Tränen-Nasen-Kanal neben vielen weiteren Strukturen der knöchernen Frontobasis mittels DVT präzise dargestellt werden konnte. Dabei war der Tränen-Nasen-Kanal unter denjenigen Strukturen, welche unabhängig von der Dosis sehr gut dargestellt werden konnten[9]. Wilhelm et al. untersuchten in ihrer Studie 45 Patienten mit einseitiger Epiphora. Dabei wurde zur optimalen Lokalisation einer Obstruktion des Tränen-Nasen-Kanals eine DVT-Bildgebung angewandt. Mit dieser Bildgebung konnte die Obstruktion präzise lokalisiert werden und eine Therapieplanung erfolgen. Dabei sei die Diagnostik mittels DVT der CT-Diagnostik überlegen, auch weil bei der DVT im Gegensatz zur CT die Strahlenexposition der Augen sehr viel kleiner sei. Unter Berücksichtigung der Studien und der selbst analysierten Daten ist anzunehmen, dass sich die DVT gut zur apparativen Diagnostik einer Tränenwegsstenose eignet, allerdings war die Fallzahl in dieser Studie zu gering um eine abschließende Aussage treffen zu können.

Bei 2 Patienten wurde eine DVT-Bildgebung durchgeführt, da eine Epithesenverankerung geplant war. Eine Epithese dient dem ästhetischen

Ausgleich von Defekten, diese können entweder von selbst haften (je nach Anatomie und Lokalisation) oder sie werden durch Metallstifte am Knochen fixiert. Bei den vorliegenden 2 Fällen war eine Befestigung am Knochen geplant. Bevor diese durchgeführt werden konnte, sollten die anatomischen (knöchernen) Begebenheiten dargestellt werden, für diese präoperative Darstellung eignet sich die DVT hervorragend [9, 12].

Somit lassen sich einige Indikationsbereiche, wie beschrieben, zu den Indikationen ‚Rhinosinusitis‘ oder Darstellung der knöchernen Anatomie der NNH (dargelegt im Kapitel ‚Mittelgesichtsfrakturen‘) zählen. Durch die hierzu bestehende Literatur kann die Anwendung der DVT gerechtfertigt werden.

5.2.2.6 Fazit Indikationen Frontobasis

Die DVT ist eine gute apparative Bildgebungsmethode im Bereich der Frontobasis. In der Leitlinie zur Rhinosinusitis, eines der meistverbreiteten Krankheitsbilder der Frontobasis, ist die DVT seit 2011 etabliert und wird dort als gleichwertig zur CT beschrieben. Auch zur operativen Therapieplanung wird die DVT in dieser Leitlinie neben der CT empfohlen. Hierdurch lässt sich der suffiziente Einsatz der DVT zur präoperativen Bildgebung auch bei anderen Krankheitsbildern erklären. Anhand verschiedener Studien und der Daten dieser Arbeit lässt sich außerdem ableiten, dass die DVT eine sehr gute Möglichkeit bietet, die knöchernen Strukturen und so beispielsweise das Nasengerüst abzubilden, so dass sie auch bei Mittelgesichtsfrakturen eingesetzt werden kann. Allerdings sollte stets bedacht werden, dass die DVT ein radiologisches Verfahren mit ionisierender Strahlung ist, weshalb eine strenge Indikationsstellung nötig ist. Zur Weichteildiagnostik eignet sich die DVT nicht, hier sollte auch im Bereich der Frontobasis auf eine MRT zurückgegriffen werden. Sind genügend Informationen über die klinische Diagnostik vorhanden oder wird keine Pathologie der Frontobasis erwartet, so sollte zu Nutzen des Strahlenschutzes auf eine DVT-Bildgebung verzichtet werden.

5.3 Fall ‚sonstige Region‘

In dem vorliegenden Datensatz gab es einen Fall, welcher weder zu der Region Laterobasis noch zur Region Frontobasis zugeteilt werden konnte. Es handelte sich hierbei um die Aufnahme bei einem 16 jährigen Jungen mit dem Verdacht auf einen Fremdkörper im Hals. Nach einer Scout-Aufnahme und der anschließenden DVT-Aufnahme erfolgte noch eine weitere Bildgebung, welche keinen Informationsgewinn erbrachte. Auch die DVT zeigte keinen Fremdkörper. Dies kann daran liegen, dass der Fremdkörper entweder nicht mehr im Hals lokalisiert war oder dass dieser Fremdkörper sehr klein war. Außerdem besteht die Anatomie des Halses zum größten Teil aus Weichteilen, zu deren Darstellung sich die DVT nicht eignet. Aus der klinischen Dokumentation war zu entnehmen, dass keine Operation folgte. Studien zur Anwendung der DVT im Halsbereich sind bisher rar, weshalb keine abschließende Aussage möglich ist. Es ist anzunehmen, dass es sich in diesem Fall um einen Versuch der DVT-Anwendung zur Lokalisation des Fremdkörpers handelte. Dass mittels DVT Metallstrukturen artefaktfreier als im CT dargestellt werden können wird in Kapitel ‚Lagekontrolle Cochleaimplantat‘ näher beschrieben.

6. Einschränkungen dieser Studie

6.1 Material und Methoden

Bei dieser Arbeit handelt es sich um eine retrospektive Datenerhebung. Hierdurch wird eine sonst ethisch nicht vertretbare Studie möglich. Denn die Anwendung von ionisierender Strahlung zum Test, ob sich die DVT für die gegebene Fragestellung eignet, wäre ethisch nicht vertretbar. Innerhalb einer retrospektiven Studie kann es aber zu verschiedenen Confoundern kommen, welche bei der Datenauswertung nicht offensichtlich und deshalb nicht bedacht werden können. Somit kann es zu Verzerrungen der Ergebnisse kommen. So kann es beispielsweise durch eine unvollständige Dokumentation der Klinik des Patienten zu einer fehlerhaften Gruppierung innerhalb des Gesamtkollektives kommen. Ein Patient mit Nasenatmungsbehinderung kann ebenfalls den Verdacht auf eine Sinusitis haben, es liegt also in dem Ermessen des Arztes, ob er als rechtfertigende Indikation die Sinusitis oder die Nasenatmungsbehinderung dokumentiert. Dies kann allerdings zu Verzerrungen in dieser Studie führen.

Es ergab sich letztendlich ein relativ großes und repräsentatives Gesamtkollektiv durch die Datenerhebung, so dass insgesamt Daten von 554 Patienten analysiert werden konnten. Durch die weitere Unterteilung in Gruppen waren einige Indikationskollektive jedoch relativ klein, so dass für diese keine allgemeingültige Aussage getroffen werden konnte. Allerdings konnte gezeigt werden, dass sich einige dieser kleineren Untergruppen zu häufigeren Indikationsgruppen zählen ließen und damit die Rechtfertigung erörtert werden konnte.

Da am DVT-Gerät alle Einstellungsparameter gespeichert werden und für den Arzt die Pflicht besteht, die rechtfertigende Indikation zu dokumentieren, konnte eine nahezu lückenlose Datenerfassung erfolgen. Dies ist Voraussetzung für eine repräsentative Studie um mögliche Verzerrungen zu vermeiden und um anschließend valide Aussagen zuzulassen.

Das Jahr 2013 wurde nicht mehr vollständig erfasst, hieraus können sich mögliche Fehler ergeben, da einige Indikationen eine saisonale Variation zeigen, so dass eine Indikationsgruppe für das Jahr 2013 überpräsentiert sein kann und eine andere Gruppe unterpräsentiert sein kann. Alle anderen Jahre (2003-2012)

wurden hingegen vollständig erfasst, so dass die Verzerrung durch die unvollständige Datenerhebung in 2013 möglichst ausgeglichen wurde.

Alle Patienten dieser Arbeit wurden nur mit einem DVT-Gerät (*3D Accu-I-Tomo, Modell MCT-1, Typ EX-2 F17*) untersucht, weshalb keine Aussage über die Qualität und über die Einsetzbarkeit anderer Geräte bei diesen Indikationen getroffen werden kann.

Abschließend bleibt zu sagen, dass durch das relativ große Patientenkollektiv deskriptive Aussagen trotz einiger Einschränkungen möglich sind.

6.2 Literatur

Es wurde versucht zu den verschiedenen Indikationen und technischen Daten geeignete und aktuelle Literatur zur Diskussion heranzuziehen. Dabei sollte wenn möglich der aktuelle Stand bezüglich der Anwendung der DVT und der jeweiligen Indikation erfolgen. So sollte Versucht werden einen Bezug zu AWMF-Leitlinien oder zu Richtlinien der Strahlenschutzkommission herzustellen. Bei den AWMF-Leitlinien handelt es sich um systematisch entwickelte Hilfen für Ärzte, sie werden von deutschen Fachgesellschaften wissenschaftlich erarbeitet und ständig aktualisiert. Allerdings konnte zu einigen Indikationen keine spezifische Literatur in Bezug auf die DVT gefunden werden, auch der Bezug zwischen DVT und der Bildgebung bei Kindern fehlte in vielen Studien. Dies liegt vor allem daran, dass die DVT eine relativ neue radiologische Technik im Bereich der HNO ist und deshalb bisher nur bei einigen Krankheitsbildern etabliert ist. Große Untersuchungen der DVT-Anwendung im Kindesalter oder zu weniger häufigen Indikationen existieren kaum.

Letztendlich zeigten viele der Indikationen, welche in dieser Arbeit nur durch ein kleines Patientenkollektiv repräsentiert wurden, eine Überschneidung mit Indikationen, bei welchen die DVT bereits etabliert ist und eine breite Studienlage vorliegt. So konnte trotz geringer Studienlage zu der speziellen Indikation eine Diskussion erfolgen. Konnte keine Überschneidung zu diesen Indikationen festgestellt werden, so wurden auch diejenigen Studien herangezogen, welche weniger repräsentativ waren. Letztendlich wurde aber

versucht, möglichst diejenigen Studien mit einzubeziehen, welche häufig rezitiert wurden und damit repräsentativ erschienen.

Bei geringer Datenlage der DVT-Anwendung im Kindesalter, wurden auch diejenigen Studien herangezogen, welche nicht speziell für Kinder sondern auch für die Bildgebung bei Erwachsenen durchgeführt wurden.

7. Ausblick

Durch die Diskussion dieser Arbeit konnten die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten der DVT in der Hals-Nasen-Ohrenheilkunde bezogen auf das Kindsalter erläutert werden. In einige Leitlinien für den Bereich der HNO-Fragestellungen hat die DVT bereits Einzug erhalten und wird als Alternative zur CT genannt. Durch die präzise Darstellung auch kleinster knöcherner Strukturen im Bereich der Frontobasis sowie der Laterobasis ist anzunehmen, dass sich der DVT-Einsatz auch bei Indikationen etablieren wird, bei welchen der DVT-Einsatz noch nicht ausreichend geprüft wurde und aus diesem Grund noch nicht in die jeweilige Leitlinie aufgenommen wurde.

Ein großer Vorteil der DVT besteht in der geringeren Strahlendosis im Vergleich zur CT bei vergleichbarer oder überlegener Bildqualität. Die besondere Bedeutung des Strahlenschutzes im Kindesalter konnte ebenso dargelegt werden. So ist anzunehmen, dass die DVT bei einer Vielzahl an Indikationen und bei geringerer Strahlenexposition eine geeignete diagnostische Methode insbesondere bei Kindern sein wird. Allerdings weisen auch neuere CT-Techniken und CT-Untersuchungsprotokolle eine Möglichkeit der Dosisersparnis auf. So sollten Studien mit klarem Studiendesign und definierten Zielgrößen durchgeführt werden, welche einen Vergleich der Dosis und Bildqualität zwischen CT und DVT zulassen, um hier die kontroversen Diskussionen zu beenden und abschließende, valide Ergebnisse zu erhalten. Hierzu ist jedoch anzumerken, dass sich sowohl die Technik der DVT als auch der CT und MRT in stetiger Entwicklung befindet, so dass stets eine Neubetrachtung und Bewertung nötig ist.

Ein Nachteil der DVT sind die noch recht langen Rotationszeiten, was insbesondere die Einsetzbarkeit bei Kleinkindern durch mögliche Bewegungsartefakte limitiert. Aus diesem Grund sind neuere Geräte mit kürzeren Untersuchungszeiten wünschenswert.

Auch die Abbildung von Weichteilgewebe ist mittels DVT nicht ausreichend möglich, weshalb sie sich zum derzeitigen Zeitpunkt fast ausschließlich zur Diagnostik von knöchernen Pathologien eignet. Mittlerweile wird versucht durch die sogenannte ‚Hounsfield-Kalibrierung‘ eine bessere Darstellung von Weichteilen zu bewirken [53]. Hierbei werden die Werte der Graustufen des

DVT-Datensatzes in Hounsfield-CT-Werte umgewandelt/kalibriert, so dass Gewebe unterschiedlicher Dichte dargestellt werden kann.

Auch zur intraoperativen Bildgebung wird die DVT mittlerweile vermehrt eingesetzt, sei es zur Navigation während einer Operation oder beispielsweise zur intraoperativen Kontrolle nach Rekonstruktion einer Gesichtsfraktur [27, 73]. Hier bietet die DVT aufgrund der niedrigeren Strahlung und der geringeren Gerätegröße einen großen Vorteil gegenüber intraoperativer CT-Bildgebung, welche mobil nur wenig verfügbar ist [108].

Abschließend ist anzunehmen, dass sich die diagnostischen Möglichkeiten durch stetige Weiterentwicklung der apparativen Diagnostik mittels DVT, CT und MRT verbessern und dabei zusätzlich eine Dosisreduktion bewirkt werden soll. Daher ist eine permanente Neubewertung und Überarbeitung bestehender Leitlinien unabdingbar.

8. Zusammenfassung

Neben der CT stellt die DVT seit den letzten Jahren vermehrt eine suffiziente Darstellungsmethode knöcherner Strukturen bei Fragestellungen der Hals-Nasen-Ohrenheilkunde dar. Hierbei ist eine stetige Ausbreitung der Indikationsgebiete für eine DVT zu verzeichnen, so dass sie heute bei einer Vielzahl an Fragestellungen, welche die Anatomie der Laterobasis und der Frontobasis betreffen, Anwendung findet. Der Vorteil einer Bildgebung mittels DVT liegt im Vergleich zur CT darin, dass die Strahlendosis geringer ist und dabei Aufnahmen mit einer präzisen Darstellungsqualität erzeugt werden können. Allerdings wird die DVT aufgrund der relativ neuen Technologie und geringer Datenlage bisher nur in wenigen Leitlinien erwähnt und empfohlen, obwohl ein breiteres Anwendungsspektrum zu erwarten ist.

Ziel dieser Arbeit war es deshalb, die Anwendung der DVT bei HNO-Fragestellungen im Kindesalter in der klinischen Routine zu analysieren. Insbesondere hinsichtlich des wichtigen Strahlenschutzes im Kindesalter sollten die technischen Einstellungsparameter sowie die Anwendungsgebiete geprüft werden. Hierzu wurden retrospektiv die technischen Einstellungsparameter, Patientendaten wie Alter und Geschlecht sowie die zugehörige rechtfertigende Indikation ermittelt. Eingeschlossen in diese Studie wurden diejenigen Patienten, welche eine Aufnahme im Alter von 0 bis einschließlich 18 Jahren im Zeitraum von 2004 bis 2013 erhielten. Es ergab sich ein Gesamtkollektiv von 554 Patienten, wobei 212 Patienten eine Aufnahme der Laterobasis und 341 Patienten eine Aufnahme der Frontobasis erhielten. Bei einem Fall war keine Zuordnung zu diesen Regionen möglich.

Unter Betrachtung der technischen Einstellungsparameter konnten signifikante Unterschiede hinsichtlich der Region und des Patientenalters dargestellt werden. Dabei war die Strahlendosis im Bereich des Felsenbeins durchschnittlich signifikant höher als die der NNH-Bildgebungen (6,01mGy vs. 4,24mGy). Außerdem konnte eine Korrelation mit dem Alter festgestellt werden (ansteigend). Eine weitere Dosisreduktion sollte für beide Bereiche angestrebt werden. Dies kann unter anderem durch die Umstellung der Standardprotokolle zur DVT-Bildgebung in 2013 umgesetzt werden. Dabei wurde beispielsweise für beide Regionen ein Rotationswinkel von 180° als ausreichend beschrieben. Da

die Datenerhebung dieser Studie zum größten Teil vor diesem Zeitpunkt stattfand, war der Anteil der Aufnahmen, welche im 360°-Modus gefahren wurden mit 67,32% recht hoch. Aus diesem Grund sind weitere Studien notwendig, welche sich mit der Umsetzung des aktuellen Aufnahmeprotokolls beschäftigen. Allerdings ist aufgrund der filigranen anatomischen Strukturen der Laterobasis eine höhere Strahlendosis nötig als zur Bildgebung der Frontobasis. Eng assoziiert mit der Strahlendosis ist der Röhrenstrom, welcher zur Laterobasis-Bildgebung signifikant höher war als für die Frontobasis-Bildgebung (6,97mA vs. 4,79mA). Laut aktueller Studienlage ist auch hier eine Dosisreduktion in beiden Regionen durch Reduktion des Röhrenstroms möglich. Wiederholungsaufnahmen und zusätzliche Bildgebungen wurden ebenfalls im Bereich der Laterobasis häufiger benötigt (Wiederholung: 5,2% vs. 4,7%; zusätzliche Bildgebung: 3,8% vs. 0,3%). Deshalb sollte für jeden Patienten individuell eine Scout-Aufnahme in Erwägung gezogen werden und Rotationszeiten/-winkel und FOV individuell gewählt werden.

Für die Wahl des FOV ergaben sich ebenfalls signifikante Unterschiede für die Regionen. Im Bereich der Laterobasis konnten suffiziente Aufnahmen mit einem FOV von 6x6cm erstellt werden, bei der Frontobasis-Darstellung sollte ein FOV von 10x10cm gewählt werden.

Für die verschiedenen Indikationen wurden je Region die Häufigkeiten ermittelt und Rangfolgen aufgestellt. Im Bereich der Laterobasis war die häufigste Indikation für die Bildgebung die Otitis media chronica epitympanalis gefolgt von Otorrhoe, Lagekontrolle bei Cochleaimplantat und Schallleitungsschwerhörigkeit. Daneben gab es noch weitere Indikationen, welche jedoch ein relativ kleines Patientenkollektiv aufwiesen und daher angenommen werden kann, dass in der klinischen Routine erstgenannte Indikationen eine größere Rolle bei DVT-Bildgebungen spielen. In aktuellen Leitlinien zu diesen Erkrankungen findet die DVT bisher keine Erwähnung. Allerdings konnte durch die Analyse der breiten Studienlage zur DVT-Bildgebung der Laterobasis gezeigt werden, dass sich die DVT hervorragend zur Darstellung der feinen Strukturen von Mittel- und Innenohr eignet und somit eine Bildgebung mittels DVT in dieser Region gerechtfertigt werden kann.

Für die Indikationen der Frontobasis ergab sich folgende Rangfolge: die mit Abstand häufigste Indikation war der Verdacht auf eine Mittelgesichtsfraktur, gefolgt von Nasenatmungsbehinderung und Rhinosinusitis. Vergleichbar mit der Laterobasis wurden weitere Indikationen mit kleineren Fallzahlen dokumentiert. In die Leitlinie bezüglich der Rhinosinusitis und der lateralen Gesichtsfrakturen (welche auch Orbitabodenfrakturen einschließen) wird die DVT als gleichwertige Alternative zur CT beschrieben. Auch für die DVT-Bildgebung der Frontobasis konnte anhand von Studien gezeigt werden, dass eine präzise Darstellung der Nasennebenhöhlen mitsamt ihrer knöchernen Begrenzungen sowie des Nasengerüst möglich ist. Auch für die Detektion der Mittelgesichtsfrakturen hat die DVT bereits Einzug in die klinische Routine am Universitätsklinikum Marburg erhalten.

Einschränkend ist jedoch noch immer die mangelnde Weichteildarstellung, hierzu eignet sich die CT oder MRT besser. Bedingt durch die stetige Weiterentwicklung aller 3 Techniken sollte eine ständige Neubewertung des DVT/CT und MRT-Einsatzes für die verschiedenen Indikationen und der mit der jeweiligen Untersuchung verbundenen Untersuchungsprotokolle erfolgen. Dabei sollte immer zu Gunsten einer möglichen Strahlenreduktion vorgegangen werden.

Für den Bereich der Kinder-Bildgebung mittels DVT ist die Studienlage bisher rar. Deshalb sollten die Anwendungsmöglichkeiten der DVT in der HNO besonders für dieses Klientel weiter analysiert werden.

9. Summary

Alongside CT, in recent years cone beam computed tomography (DVT; CBCT) has increasingly been regarded as an insufficient method for the visualisation of osseous structures in ear, nose and throat cases. Here a steady broadening of the indications for a DVT can be noted, with the result that it is currently used for a host of conditions relating to the anatomy of the lateral skull base and the frontal skull base. When compared to the CT, the advantage of imaging using DVT is that the radiation dose is lower, yet images with a sharp image quality can be

generated. However, to date DVT has only been mentioned and recommended in a minimal number of guidelines, on account of the technology being relatively new and due to the low quantity of available data. Nonetheless a broader sphere of application can be expected in future.

The aim of this study was therefore to analyse the use of DVT in otolaryngology conditions in childhood in clinical routine. In particular, the technical configuration parameters and areas of application with regard to important radiation protection when treating children are to be examined. To this end, the technical configuration parameters, patient data such as age and gender, and the associated justifying indication have been identified retrospectively. Included in this study were those patients of whom images were captured when aged 0 up to and including 18 years old, in the period from 2004 to 2013. There was a total study population of 554 patients, whereby 212 patients received imaging of the lateral skull base and 341 patients imaging of the frontal skull base. In one case, allocation to these regions was not possible.

Considering the technical configuration, parameters significant differences with regard to the region and the patient's age could be shown. The radiation dose in the area of the temporal bone was on average significantly higher than that used when recording imaging of the paranasal sinus (6.01 mGy vs. 4.24 mGy). In addition, it was possible to find a correlation with age (increasing). A further dose reduction should be sought for both areas. This could be implemented through the conversion of standard protocols for DVT imaging in 2013, among other instances. Here, for example, an angle of rotation of 180° was described as adequate for both areas. Since the data collection for this study took place, for the most part, prior to this date, the proportion of images captured in 360° mode was very high, at 67.32%. For this reason further studies are required, which deal with the implementation of the current imaging protocol. However, due to the delicate anatomical structures of the lateral skull base, a higher dose of radiation than is required than for the imaging of the frontal skull base. Closely associated with the radiation dose is the tube current, which was significantly higher for lateral skull base imaging than for the imaging of the frontal skull base (6.97 mA vs. 4.79 mA). According to current studies, a dose reduction in both regions is possible by reducing the tube current. Repeat and additional imaging

were also more frequently required in the area of the lateral skull base (repeat: 5.2% vs. 4.7%; additional imaging: 3.8% vs. 0.3%). Therefore, scout imaging should be considered for each patient on an individual basis and the rotation times / angles and field of view (FOV) selected for each patient individually.

There were also significant differences between the different regions with regard to the selection of the FOV. In the area of the lateral skull base, sufficient images could be captured with an FOV of 6x6 cm, whereas in the case of the frontal skull base imaging an FOV 10x10 cm should be selected.

For the various indications, the frequencies were determined for each region and rankings set up. In the area of lateral skull, the most common indication for imaging was chronic otitis media epitympanalis, followed by otorrhea, position monitoring in the case of cochlear implants and conductive hearing loss. In addition, there were further indications, however, these only presented in a relatively small group of patients and it can therefore be assumed that the former indications will play a larger role in DVT imaging in the clinical routine. In the current guidelines for these conditions, DVT has not been mentioned to date. However, through the analysis of broad studies regarding the DVT imaging the lateral skull, it could be shown that DVT is exceptionally well suited for the imaging of the fine structures of the middle and inner ear, and imaging by means of DVT can therefore be justified in this region.

For the indications of the frontal skull base, the following ranking was produced: by far the most frequent indication was a suspected mid-facial fracture, followed by nasal obstruction and rhinosinusitis. Similarly to the lateral skull base, further indications were documented with smaller sample sizes. In the guideline concerning rhinosinusitis and lateral facial fractures (which also includes fractures of the orbital floor), DVT is described as an equally valid alternative to the CT. In relation to the DVT imaging of the frontal skull base, it could also be demonstrated on the basis of studies that an accurate representation of the paranasal sinuses, along with their osseous boundaries and the nasal skeleton, is possible. DVT has also been used for the detection of mid-facial fractures in clinical routine at the University Hospital Marburg.

However, the insufficient soft tissue imaging is still a limitation, with the CT or MRI better suited in this case. Due to the ongoing development of all 3

techniques, the use of the DVT / CT and MRI for various indications should be subject to continual reassessment, along with the test protocols associated with the respective examinations. Here the approach should always be the pursuit of a possible reduction in radiation.

In the area of the imaging of children using DVT, studies are thus far few and far between. Therefore, the application possibilities of DVT in otolaryngology should be further analysed, for this clientèle in particular.

10.Verzeichnisse

10.1 Literaturverzeichnis

1. Alcalá-Galiano A, Arribas-García IJ, Martín-Pérez MA et al (2008) Pediatric Facial Fractures: Children Are Not Just Small Adults¹. *RadioGraphics* 28:441–461. doi: 10.1148/rg.282075060
2. Ali SH, Modic ME, Mahmoud SY, Jones SE (2013) Reducing Clinical MRI Motion Degradation Using a Prescan Patient Information Pamphlet. *Am J Roentgenol* 200:630–634. doi: 10.2214/AJR.12.9015
3. Alvi A, Doherty T, Lewen G (2003) Facial fractures and concomitant injuries in trauma patients. *The Laryngoscope* 113:102–106.
4. Alzen G, Benz-Bohm G (2011) Kinderradiologie–Besonderheiten des Strahlenschutzes. *N Engl J Med* 357:2277–84.
5. Aschendorff A, Kubalek R, Hochmuth A et al (2004) Imaging procedures in cochlear implant patients – evaluation of different radiological techniques. *Acta Otolaryngol (Stockh)* 124:46–49. doi: 10.1080/03655230410017175
6. Aschendorff A, Kubalek R, Turowski B et al (2005) Quality control after cochlear implant surgery by means of rotational tomography. *Otol Neurotol* 26:34–37.
7. Bahreyni Toossi MT, Malekzadeh M (2012) Radiation Dose to Newborns in Neonatal Intensive Care Units. *Iran J Radiol* 9:145–149. doi: 10.5812/iranjradiol.8065
8. Barath K, Huber AM, Stampfli P et al (2011) Neuroradiology of Cholesteatomas. *Am J Neuroradiol* 32:221–229. doi: 10.3174/ajnr.A2052
9. Bitterwolf L, Lünzner K, Heinrichs J et al (2013) Dosisreduktion unter Betrachtung der erforderlichen Bildqualität - Wie viel Dosis braucht ein Bild? *Laryngo-Rhino-Otol* 92:332–337. doi: 10.1055/s-0033-1333781
10. Bremke M (2011) Die digitale Volumentomographie in der HNO-Heilkunde. *Wissen Kompakt* 5:39–48. doi: 10.1007/s11838-011-0124-5
11. Bremke M, Leppek R, Werner JA (2010) Die digitale Volumentomographie in der HNO-Heilkunde. *HNO* 58:823–832. doi: 10.1007/s00106-010-2110-1
12. Bremke M, Sesterhenn AM, Murthum T et al (2009) Digital volume tomography (DVT) as a diagnostic modality of the anterior skull base. *Acta Otolaryngol (Stockh)* 129:1106–1114. doi: 10.1080/00016480802620621
13. Bremke M, Wiegand S, Sesterhenn AM et al (2009) Digital volume tomography in the diagnosis of nasal bone fractures. *Rhinology* 47:126.

14. Brenner DJ, Elliston CD, Hall EJ, Berdon WE (2001) Estimated risks of radiation-induced fatal cancer from pediatric CT. *Am J Roentgenol* 176:289–296.
15. Bundesamt für Strahlenschutz (2010) Bekanntmachung der aktualisierten diagnostischen Referenzwerte für diagnostische und interventionelle Röntgenuntersuchungen.
16. Buric N, Jovanovic G, Tijanic M (2013) Usefulness of cone-beam CT for presurgical assessment of keratoma (cholesteatoma) of the maxillary sinus. *Head Neck* 35:E221–E225. doi: 10.1002/hed.23031
17. Burke TF, Guertler AT, Timmons JH (1994) Comparison of Sinus X-rays with Computed Tomography Scans in Acute Sinusitis. *Acad Emerg Med* 1:235–239.
18. Çakli H, Cingi C, Ay Y et al (2012) Use of cone beam computed tomography in otolaryngologic treatments. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 269:711–720. doi: 10.1007/s00405-011-1781-x
19. Carrafiello G, Dizonno M, Colli V et al (2010) Comparative study of jaws with multislice computed tomography and cone-beam computed tomography. *Radiol Med (Torino)* 115:600–611. doi: 10.1007/s11547-010-0520-5
20. Casselman JW, Gieraerts K, Volders D et al (2013) Cone beam CT: non-dental applications. *JBR-BTR Organe Société R Belge Radiol SRBR Orgaan Van K Belg Ver Voor Radiol KBVR* 96:333–353.
21. Chien J-H, Chen Y-S, Hung I-F et al (2012) Mastoiditis diagnosed by clinical symptoms and imaging studies in children: Disease spectrum and evolving diagnostic challenges. *J Microbiol Immunol Infect* 45:377–381. doi: 10.1016/j.jmii.2011.12.008
22. Cohnen M (2010) Radiologische Diagnostik der Nasennebenhöhlen. *Radiol* 50:277–296. doi: 10.1007/s00117-009-1976-y
23. Dahmani-Causse M, Marx M, Deguine O et al (2011) Morphologic examination of the temporal bone by cone beam computed tomography: Comparison with multislice helical computed tomography. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis* 128:230–235. doi: 10.1016/j.anorl.2011.02.016
24. Dalchow CV, Knecht R, Grzyska U, Muenscher A (2013) Radiographic examination of patients with dehiscence of semicircular canals with digital volume tomography. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 270:511–519. doi: 10.1007/s00405-012-2022-7
25. Dalchow CV, Weber AL, Bien S et al (2006) Value of digital volume tomography in patients with conductive hearing loss. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 263:92–99. doi: 10.1007/s00405-005-0995-1

26. Dalchow CV, Weber AL, Yanagihara N et al (2006) Digital Volume Tomography: Radiologic Examinations of the Temporal Bone. Am J Roentgenol 186:416–423. doi: 10.2214/AJR.04.1353
27. Daly MJ, Siewerdsen JH, Moseley DJ et al (2006) Intraoperative cone-beam CT for guidance of head and neck surgery: Assessment of dose and image quality using a C-arm prototype. Med Phys 33:3767–3780.
28. Dammann F, Bootz F, Cohnen M, Hassfeld S, Tatagiba M, Kösling S: (2014) Diagnostic imaging modalities in head and neck disease. Dtsch Aerzteblatt Online. doi: 10.3238/arztebl.2014.0417
29. Dawood A, Sauret-Jackson V, Patel S, Darwood A (2010) A novel alignment device for cone beam computed tomography: principle and application. Dentomaxillofacial Radiol 39:375–382. doi: 10.1259/dmfr/21679313
30. Deutsche Gesellschaft für Allgemeinmedizin und Familienmedizin (2008) Leitlinie Rhinosinusitis.
31. Deutsche Gesellschaft für Allgemeinmedizin und Familienmedizin (2014) Leitlinie Ohrenschmerzen. AWMF
32. Deutsche Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf-und-Hals-Chirurgie (2011) Leitlinie Rhinosinusitis. AWMF
33. Deutsche Gesellschaft für Hals Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie (2012) Cochlea-Implantat Versorgung und zentral-auditorische Implantate. AWMF
34. Deutsche Gesellschaft für Hals Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie (2014) Leitlinie Cholesteatom. AWMF
35. Deutsche Gesellschaft für Hals Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie (2014) Leitlinie Chronisch-mesotympanale Otitis media. AWMF
36. Deutsche Gesellschaft für Neurologie (2012) Diagnostik und apparative Zusatzuntersuchungen bei Kopfschmerzen.
37. Deutsche Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie (2013) Periphere Hörstörungen im Kindesalter. AWMF
38. Diogo I, Franke N, Steinbach-Hundt S et al (2014) Differences of radiological artefacts in cochlear implantation in temporal bone and complete head. Cochlear Implants Int 15:112–117. doi: 10.1179/1754762813Y.0000000035
39. Djerić DR, Folic MM, Blazić SR, Djorić IB (2014) Acute Mastoiditis in Children as Persisting Problem. J Int Adv Otol 10:60–63. doi: 10.5152/jao.2014.013

40. Drage NA, Sivarajasingam V (2009) The use of cone beam computed tomography in the management of isolated orbital floor fractures. *Br J Oral Maxillofac Surg* 47:65–66. doi: 10.1016/j.bjoms.2008.05.005
41. Durack C, Patel S, Davies J et al (2011) Diagnostic accuracy of small volume cone beam computed tomography and intraoral periapical radiography for the detection of simulated external inflammatory root resorption: Diagnosis of external root resorption using CBCT and intraoral radiography. *Int Endod J* 44:136–147. doi: 10.1111/j.1365-2591.2010.01819.x
42. Edfeldt L (2013) Middle Ear Cholesteatoma: Surgical Treatment, Follow-up and Hearing Restoration.
43. Eggers G, Klein J, Welzel T, Mühling J (2008) Geometric accuracy of digital volume tomography and conventional computed tomography. *Br J Oral Maxillofac Surg* 46:639–644. doi: 10.1016/j.bjoms.2008.03.019
44. Eggesbø HB (2006) Radiological imaging of inflammatory lesions in the nasal cavity and paranasal sinuses. *Eur Radiol* 16:872–888. doi: 10.1007/s00330-005-0068-2
45. Faccioli N, Barillari M, Guariglia S et al (2009) Radiation dose saving through the use of cone-beam CT in hearing-impaired patients. *Radiol Med (Torino)* 114:1308–1318. doi: 10.1007/s11547-009-0462-y
46. Fatterpekar GM, Doshi AH, Dugar M et al (2006) Role of 3D CT in the Evaluation of the Temporal Bone1. *RadioGraphics* 26:S117–S132. doi: 10.1148/rg.26si065502
47. Felisati G, Ramadan H (2007) Rhinosinusitis in children: the role of surgery. *Pediatr Allergy Immunol* 18:68–70. doi: 10.1111/j.1399-3038.2007.00638.x
48. Fiereder R, am Groß svenediger N (2003) Forensische Aspekte in der Parodontologie. na
49. De Foer B, Vercruysse J-P, Bernaerts A et al (2008) Detection of postoperative residual cholesteatoma with non-echo-planar diffusion-weighted magnetic resonance imaging. *Otol Neurotol* 29:513–517.
50. De Foer B, Vercruysse J-P, Bernaerts A et al (2010) Middle Ear Cholesteatoma: Non??? Echo-planar Diffusion-weighted MR Imaging versus Delayed Gadolinium-enhanced T1-weighted MR Imaging??? Value in Detection 1. *Radiology* 255:866–872.
51. Fokkens WJ, Lund VJ, Mullol J et al (2012) EPOS 2012: European position paper on rhinosinusitis and nasal polyps 2012. A summary for otorhinolaryngologists. *Rhinology* 50:1–12. doi: 10.4193/Rhino50E2

52. Greess H, Baum U, R#x00F6mer W et al (2002) CT und MRT des Felsenbeins. HNO 50:906–919. doi: 10.1007/s00106-002-0729-2
53. Güldner C (2011) Bildgebende Verfahren in der Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde Stellenwert der digitalen Volumentomographie. MedReview 10–13.
54. Güldner C, Diogo I, Windfuhr J et al (2011) Analysis of the fossa olfactoria using cone beam tomography (CBT). Acta Otolaryngol (Stockh) 131:72–78. doi: 10.3109/00016489.2010.506653
55. Güldner C, Ningo A, Voigt J et al (2013) Potential of dosage reduction in cone-beam-computed tomography (CBCT) for radiological diagnostics of the paranasal sinuses. Eur Arch Otorhinolaryngol 270:1307–1315. doi: 10.1007/s00405-012-2177-2
56. Güldner C, Weiß R, Eivazi B et al (2012) Intracochleäre Elektrodenlage: Beurteilung mittels „cone beam computed tomography“ nach tiefer Insertion. HNO 60:817–822. doi: 10.1007/s00106-012-2527-9
57. Güldner C, Wiegand S, Weiß R et al (2012) Artifacts of the electrode in cochlea implantation and limits in analysis of deep insertion in cone beam tomography (CBT). Eur Arch Otorhinolaryngol 269:767–772. doi: 10.1007/s00405-011-1719-3
58. Gupta R, Bartling SH, Basu SK et al (2004) Experimental flat-panel high-spatial-resolution volume CT of the temporal bone. Am J Neuroradiol 25:1417–1424.
59. Hall EJ (2002) Lessons we have learned from our children: cancer risks from diagnostic radiology. Pediatr Radiol 32:700–706. doi: 10.1007/s00247-002-0774-8
60. Hassan B, Payam J, Juyanda B et al (2012) Influence of scan setting selections on root canal visibility with cone beam CT. Dentomaxillofac Radiol 41:645–648. doi: 10.1259/dmfr/27670911
61. Hofmann E, Schmid M, Sedlmair M et al (2014) Comparative study of image quality and radiation dose of cone beam and low-dose multislice computed tomography - an in-vitro investigation. Clin Oral Investig 18:301–311. doi: 10.1007/s00784-013-0948-9
62. Hong HS, Cha JG, Paik SH et al (2007) High-Resolution Sonography for Nasal Fracture in Children. Am J Roentgenol 188:W86–W92. doi: 10.2214/AJR.05.1067
63. Jaju PP, Jain M, Singh A, Gupta A (2013) Artefacts in cone beam CT. Open J Stomatol 03:292–297. doi: 10.4236/ojst.2013.35049
64. Javadrashid R, Khatoonabad M, Shams N et al (2011) Comparison of ultrasonography with computed tomography in the diagnosis of nasal

- bone fractures. *Dentomaxillofacial Radiol* 40:486–491. doi: 10.1259/dmfr/64452475
65. J. Morita MFG.CORP The Pinnacle of 3D Imaging: 3D Accuitomo 170.
 66. Juliano AF, Ginat DT, Moonis G (2013) Imaging review of the temporal bone: part I. Anatomy and inflammatory and neoplastic processes. *Radiology* 269:17–33.
 67. Knörger M, Brandt S, Kösling S (2012) Qualitätsvergleich digitaler 3D-fähiger Röntgenanlagen bei HNO-Fragestellungen am Schläfenbein und den Nasennebenhöhlen. *RöFo - Fortschritte Auf Dem Geb Röntgenstrahlen Bildgeb Verfahr* 184:1153–1160. doi: 10.1055/s-0032-1325343
 68. Kolditz D, Struffert T, Kyriakou Y et al (2012) Volume-of-Interest Imaging of the Inner Ear in a Human Temporal Bone Specimen Using a Robot- Driven C-Arm Flat Panel Detector CT System. *Am J Neuroradiol* 33:E124–E128. doi: 10.3174/ajnr.A2577
 69. Kurzweg T, Dalchow CV, Bremke M et al (2010) The value of digital volume tomography in assessing the position of cochlear implant arrays in temporal bone specimens. *Ear Hear* 31:413–419.
 70. Kwong JC, Palomo JM, Landers MA et al (2008) Image quality produced by different cone-beam computed tomography settings. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 133:317–327. doi: 10.1016/j.ajodo.2007.02.053
 71. Kyriakou Y, Kolditz D, Langner O et al (2011) Digitale Volumentomografie (DVT) und Mehrschicht-Spiral-CT (MSCT): eine objektive Untersuchung von Dosis und Bildqualität. *Rofo* 183:144–153.
 72. Lee IS, Lee J-H, Woo C-K et al (2015) Ultrasonography in the diagnosis of nasal bone fractures: a comparison with conventional radiography and computed tomography. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. doi: 10.1007/s00405-015-3595-8
 73. Lee S, Gallia GL, Reh DD et al (2012) Intraoperative C-arm cone-beam computed tomography: Quantitative analysis of surgical performance in skull base surgery. *The Laryngoscope* 122:1925–1932. doi: 10.1002/lary.23374
 74. Lee SH, Yang TY, Han GS et al (2008) Analysis of the nasal bone and nasal pyramid by three-dimensional computed tomography. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 265:421–424. doi: 10.1007/s00405-007-0476-9
 75. Leitlinie der Gesellschaft für Pädiatrische Radiologie (GPR) in Zusammenarbeit mit der Deutschen Röntgengesellschaft (2013) Kopfschmerz - Bildgebende Diagnostik. AWMF
 76. Liang X, Lambrichts I, Sun Y et al (2010) A comparative evaluation of Cone Beam Computed Tomography (CBCT) and Multi-Slice CT (MSCT). Part II:

- On 3D model accuracy. *Eur J Radiol* 75:270–274. doi: 10.1016/j.ejrad.2009.04.016
77. Liebing A (2013) Computertomografie - Teil 1: Aufbau, Technik, Bildentstehung. *Radiopraxis* 06:9–21. doi: 10.1055/s-0032-1326232
 78. Löbrich M, Rief N, Kühne M et al (2005) In vivo formation and repair of DNA double-strand breaks after computed tomography examinations. *Proc Natl Acad Sci U S A* 102:8984–8989.
 79. Lofthag-Hansen S (2010) Cone beam computed tomography: radiation dose and image quality assessments. University of Gothenburg, Gothenburg
 80. Loubele M, Maes F, Jacobs R et al (2008) Comparative study of image quality for MSCT and CBCT scanners for dentomaxillofacial radiology applications. *Radiat Prot Dosimetry* 129:222–226. doi: 10.1093/rpd/ncn154
 81. Ludlow J, Davies-Ludlow L, Brooks S, Howerton W (2006) Dosimetry of 3 CBCT devices for oral and maxillofacial radiology: CB Mercuray, NewTom 3G and i-CAT. *Dentomaxillofac Radiol* 35:219–226. doi: 10.1259/dmfr/14340323
 82. Mack MG, May A, Bisdas S et al (2007) Bildgebung bei entzündlichen Erkrankungen der Nasennebenhöhlen. *Radiol* 47:606–612. doi: 10.1007/s00117-007-1504-x
 83. Martin DR, Semelka RC (2006) Health effects of ionising radiation from diagnostic CT. *Lancet* 367:1712–1714. doi: 10.1016/S0140-6736(06)68748-5
 84. Miracle AC, Mukherji SK (2009) Conebeam CT of the Head and Neck, Part 1: Physical Principles. *Am J Neuroradiol* 30:1088–1095. doi: 10.3174/ajnr.A1653
 85. Mischkowski RA, Scherer P, Ritter L et al (2008) Diagnostic quality of multiplanar reformations obtained with a newly developed cone beam device for maxillofacial imaging. *Dentomaxillofac Radiol* 37:1–9. doi: 10.1259/dmfr/25381129
 86. Mohammadi A, Ghasemi-Rad M (2011) Nasal bone fracture—ultrasonography or computed tomography. *Med Ultrason* 13:292–295.
 87. Mulkens TH, Broers C, Fieuws S et al (2005) Comparison of effective doses for low-dose MDCT and radiographic examination of sinuses in children. *Am J Roentgenol* 184:1611–1618.
 88. Mygind N (1997) Nasal blockage: an important symptom of rhinitis. Munksgaard, Copenhagen

89. Nagel HD (2007) CT parameters that influence the radiation dose. In: Radiat. Dose Adult Pediatr. Multidetector Comput. Tomogr. Springer, S 51–79
90. Neves FS, Vasconcelos TV, Campos PSF et al (2014) Influence of scan mode (180°/360°) of the cone beam computed tomography for preoperative dental implant measurements. Clin Oral Implants Res 25:e155–e158. doi: 10.1111/clr.12080
91. Nigam A, Goni A, Benjamin A, Dasgupta AR (1993) The value of radiographs in the management of the fractured nose. Arch Emerg Med 10:293–297.
92. Offergeld C, Kromeier J, Aschendorff A et al (2007) Rotational tomography of the normal and reconstructed middle ear in temporal bones: an experimental study. Eur Arch Otorhinolaryngol 264:345–351. doi: 10.1007/s00405-006-0180-1
93. Offergeld C, Kromeier J, Merchant SN et al (2010) Experimental investigation of rotational tomography in reconstructed middle ears with clinical implications. Hear Res 263:191–197. doi: 10.1016/j.heares.2009.12.003
94. Pauwels R, Beinsberger J, Stamatakis H et al (2012) Comparison of spatial and contrast resolution for cone-beam computed tomography scanners. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol 114:127–135. doi: 10.1016/j.oooo.2012.01.020
95. Pein MK, Brandt S, Plontke SK, Kösling S (2014) Darstellung subtiler Schläfenbeinstrukturen: In-vivo-Vergleich digitale Volumentomographie vs. Multidetektor-CT. Radiol 54:271–278. doi: 10.1007/s00117-013-2644-9
96. Peltonen LI, Aarnisalo AA, Käser Y et al (2009) Cone-Beam Computed Tomography: A New Method for Imaging of the Temporal Bone. Acta Radiol 50:543–548. doi: 10.1080/02841850902839700
97. Prins R, Dauer LT, Colosi DC et al (2011) Significant reduction in dental cone beam computed tomography (CBCT) eye dose through the use of leaded glasses. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology 112:502–507. doi: 10.1016/j.tripleo.2011.04.041
98. Reiser M, Bartenstein P (2011) Radiologie: 110 Tabellen, 3., vollst. überarb. und erw. Aufl. Thieme, Stuttgart
99. Roberts G, Xatzipsalti M, Borrego LM et al (2013) Paediatric rhinitis: position paper of the European Academy of Allergy and Clinical Immunology. Allergy n/a–n/a. doi: 10.1111/all.12235
100. Ruivo J, Mermuys K, Bacher K et al (2009) Cone beam computed tomography, a low-dose imaging technique in the postoperative assessment of cochlear implantation. Otol Neurotol 30:299–303.

101. Savvateeva DM, Güldner C, Murthum T et al (2010) Digital volume tomography (DVT) measurements of the olfactory cleft and olfactory fossa. *Acta Otolaryngol (Stockh)* 130:398–404. doi: 10.3109/00016480903283741
102. Schell, Boris (2013) Ultra low dose dual source high-pitch computed tomography of the paranasal sinus: diagnostic sensitivity and radiation dose. doi: 10.1594/ecr2013/C-1754
103. Schulze R, Heil U, Groß D et al (2011) Artefacts in CBCT: a review. *Dentomaxillofac Radiol* 40:265–273. doi: 10.1259/dmfr/30642039
104. Shintaku WH, Venturin JS, Azevedo B, Noujeim M (2009) Applications of cone-beam computed tomography in fractures of the maxillofacial complex. *Dent Traumatol* 25:358–366. doi: 10.1111/j.1600-9657.2009.00795.x
105. Strahlenschutzkommission (2010) Orientierungshilfe für bildgebende Untersuchungen.
106. Der Strahlenschutzkommission E Bildgebende Diagnostik beim Kind-Strahlenschutz, Rechtfertigung und Effektivität. *Thorax* 60:110–120.
107. Strutz J, Arndt O (2010) Praxis der HNO-Heilkunde, Kopf- und Halschirurgie: 265 Tabellen. Thieme, Stuttgart; New York NY
108. Stuck BA, Hülse R, Barth TJ (2012) Intraoperative cone beam computed tomography in the management of facial fractures. *Int J Oral Maxillofac Surg* 41:1171–1175. doi: 10.1016/j.ijom.2012.06.006
109. Stutzki M (2014) Analyse des Einsatzes der Digitalen Volumentomographie in der täglichen Routine der HNO-Bildgebung. Philipps-Univ. Marburg
110. Suomalainen A, Kiljunen T, Käser Y et al (2009) Dosimetry and image quality of four dental cone beam computed tomography scanners compared with multislice computed tomography scanners. *Dentomaxillofac Radiol* 38:367–378. doi: 10.1259/dmfr/15779208
111. Sur J, Seki K, Koizumi H et al (2010) Effects of tube current on cone-beam computerized tomography image quality for presurgical implant planning in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology* 110:e29–e33. doi: 10.1016/j.tripleo.2010.03.041
112. Teymoortash A, Hamzei S, Murthum T et al (2011) Temporal bone imaging using digital volume tomography and computed tomography: a comparative cadaveric radiological study. *Surg Radiol Anat* 33:123–128. doi: 10.1007/s00276-010-0713-6
113. Thomas JP, Berner R, Zahnert T, Dazert S (2014) Acute Otitis Media—a Structured Approach. *Dtsch Ärztebl Int* 111:151.

114. Thurnher D, Grasl MC, Erovic BM, Lercher P (2011) Rhinorrhoe. HNO-Heilkd 227–230.
115. Tunkel DE, Wootton-Gorges SL, Wei JL (2012) Safer Radiologic Imaging of Otolaryngologic Disease in Children. Otolaryngol -- Head Neck Surg 147:3–6. doi: 10.1177/0194599812445728
116. Vazquez E, Castellote A, Piqueras J et al (2003) Imaging of Complications of Acute Mastoiditis in Children1. RadioGraphics 23:359–372. doi: 10.1148/rg.232025076
117. Voress M (2007) The increasing use of CT and its risks. Radiol Technol 79:186–190.
118. Werner JA Radiological examinations of the anatomy of the inferior turbinate using Digital Volume Tomography (DVT).
119. Yan H, Cervino L, Jia X, Jiang SB (2012) A comprehensive study on the relationship between the image quality and imaging dose in low-dose cone beam CT. Phys Med Biol 57:2063–2080. doi: 10.1088/0031-9155/57/7/2063
120. Zahnert T (2011) Rekonstruktion der Ossikelkette mit passiven Implantaten. HNO 59:964–973. doi: 10.1007/s00106-011-2366-0
121. (2014) Leitlinie „Laterale Mittelgesichtsfrakturen“. AWMF

10.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: A Overview-Scan (Scout-Aufnahme) und B Volume of interest (VOI) Bildgebung mittels DVT [68]	14
Abbildung 2: Strahlengang bei A der DVT (kegelförmig) und B der CT (fächerförmig) [84]	14
Abbildung 3: Altersverteilung im Gesamtkollektiv	27
Abbildung 4: Altersverteilung nach Geschlecht	28
Abbildung 5: absolute Häufigkeiten nach Aufnahmejahr	28
Abbildung 6: relative Häufigkeit nach Region	29
Abbildung 7: relative Häufigkeit nach Alter und Region	31
Abbildung 8: relative Häufigkeit der Rotationswinkel (180° oder 360°) nach Alter (in Jahren) im Gesamtkollektiv	32
Abbildung 9: relative Häufigkeit der Rotationswinkel (180° oder 360°) nach Alter (in Jahren) bei der Laterobasis-Bildgebung	33
Abbildung 10: relative Häufigkeit der Rotationswinkel (180° oder 360°) nach Alter (in Jahren) bei der Frontobasis-Bildgebung	33
Abbildung 11: CTDI (in mGy) nach Alter (in Jahren) bei Frontobasis-Aufnahmen	44
Abbildung 12: CTDI (in mGy) nach Alter (in Jahren) bei Laterobasis-Aufnahmen	44
Abbildung 13: relative Häufigkeit der Scout-Aufnahmen nach Alter (in Jahren)	46
Abbildung 14: relative Häufigkeit der Scout-Aufnahmen nach Alter (in Jahren) und Region (in der Altersgruppe 1,2 und 17 liegen für den Bereich Laterobasis keine Daten vor)	46
Abbildung 15: relative Häufigkeit der Wiederholungen nach Alter (in Jahren) (n= Gesamtanzahl der Untersuchungen der jeweiligen Altersgruppe)	47
Abbildung 16: absolute Häufigkeit der Wiederholungen nach Alter (in Jahren) und Region (für die Altersgruppen 1,2 und 17 liegen für den Bereich der Laterobasis keine Daten vor)	49
Abbildung 17: Häufigkeit (absolut) des Grundes für die Wiederholungsaufnahme (verwackelt/inkomplette Aufnahme) nach Alter (in Jahren)	49

Abbildung 18: relative Häufigkeit weiterer Bildgebungen nach Alter (in Jahren) im Gesamtkollektiv.....	50
---	----

10.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Indikationen Laterobasis mit Unterindikationen sowie in Klammern die Häufigkeit der jeweiligen Diagnose.....	25
Tabelle 2: Indikationen Frontobasis mit Unterindikationen.....	25
Tabelle 3: Indikation sonstige Region.....	25
Tabelle 4: Indikationen des Gesamtkollektives mit absoluter und relativer Häufigkeit.....	30
Tabelle 5: Häufigkeiten (absolut und relativ) der gewählten FOV nach Region ...	34
Tabelle 6: Häufigkeiten (absolut und relativ) der gewählten FOV bei Laterobasis-Bildgebungen nach Altersgruppen (in Jahren)	35
Tabelle 7: Häufigkeiten (absolut und relativ) der gewählten FOV bei Frontobasis-Bildgebungen nach Altersgruppen (in Jahren)	37
Tabelle 8: Röhrenspannung (in kV) nach Aufnahmeregion.....	37
Tabelle 9: Korrelation zwischen Alter und Röhrenspannung nach Aufnahmeregion (**signifikant auf dem 0,01 Niveau)	37
Tabelle 10: Röhrenspannung (in kV) in Altersgruppen im Gesamtkollektiv	38
Tabelle 11: Röhrenspannung (in kV) nach Alter (in Jahren) und Region.....	38
Tabelle 12: Röhrenstrom (in mA) nach Aufnahmeregion.....	39
Tabelle 13: Röhrenstrom (in mA) nach Region und Geschlecht	39
Tabelle 14: Korrelation zwischen Alter und Röhrenstrom nach Aufnahmeregion (**signifikant auf dem 0,01 Niveau)	39
Tabelle 15: Röhrenstrom (in mA) nach Alter (in Jahren) für Frontobasis-Bildgebungen.....	39
Tabelle 16: Röhrenstrom (in mA) nach Alter (in Jahren) für Laterobasis-Bildgebungen.....	40
Tabelle 17: Expositionszeit (in s) nach Aufnahmeregion (Mittelwerte).....	40
Tabelle 18: Häufigkeit der Expositionszeiten nach Region.....	41
Tabelle 19: Expositionszeit nach Region und Geschlecht.....	41
Tabelle 20: Korrelation zwischen Alter und Expositionszeit nach Aufnahmeregion (**signifikant auf dem 0,01 Niveau)	41
Tabelle 21: CTDI (in mGy) nach Aufnahmeregion	42
Tabelle 22: CTDI (in mGy) nach Region und Geschlecht.....	42

Tabelle 23: Korrelation zwischen Alter und CTDI nach Aufnahme-region (**signifikant auf dem 0,01 Niveau)	42
Tabelle 24: CTDI (in mGy) nach Alter (in Jahren) für Laterobasis-Bildgebungen	43
Tabelle 25: CTDI (in mGy) nach Alter (in Jahren) für Frontobasis-Bildgebungen	43
Tabelle 26: Schichtdicke (in cm) und Schichtintervall (in cm) nach Region	45
Tabelle 27: Häufigkeit (relativ/absolut) für Scout-Aufnahmen nach Region und Geschlecht.....	45
Tabelle 28: relative Häufigkeit der Wiederholungen nach Region und Geschlecht	48
Tabelle 29: Technische Einstellungsparameter (Mittelwerte) mit p-Werten für gelungene Aufnahmen und Aufnahmen mit nachfolgenden Wiederholungen.....	48
Tabelle 30: Wiederholungsgrund nach Region; Durchschnittsalter (in Jahren)...	48
Tabelle 31: Auflistung der Fälle mit weiterer Bildgebung (* weiterführende Informationen nach zusätzlicher Bildgebung)	52
Tabelle 32: Indikationen der Laterobasis geordnet nach absoluter und relativer Häufigkeit.....	53
Tabelle 33: Indikationen der Laterobasis nach Geschlecht geordnet nach absoluter und relativer Häufigkeit.....	54
Tabelle 34: Indikationen der Frontobasis geordnet nach absoluter und relativer Häufigkeit.....	55
Tabelle 35: Indikationen der Frontobasis nach Geschlecht geordnet nach absoluter und relativer Häufigkeit.....	55
Tabelle 36: Indikationen im Gesamtkollektiv, welche eine Häufigkeit von mindestens 5% haben, nach Alter (in Jahren).....	59
Tabelle 37: technische Einstellungsparameter der Aufnahme ‚sonstige Region‘	59

11. Anhang

11.1 Akademische Lehrer

Meine akademischen Lehrer waren folgende Damen/Herren in Marburg

Adamkiewicz, Arabin, Bahr, Barth, Bartsch, Baum, Baumann, Becker, Berger, Bien, Brehm, Bösner, Bohlander, Cetin,

Czubayko, Daut, Del Rey, Dodel, Donner-Banzhoff, Ellenrieder, Fendrich,

Feuser, Fritz, Fuchs-Winkelmann, Geks, Görg, Greulich, Gress, Grimm, Grzeschik,

Grundmann, Hertl, Heverhagen, Hofmann, Höffken, Hoyer, Hundt, Jerrentrup,

Kann, Kanngießer, Kill, Kinscherf, Kircher, Klose,

Koehler, Kolb-Niemann, König, Koolmann, Kühnert, Kühne, Krüger, Kruse,

Leonhardt, Lill, Lohoff, Lüers, Mahnken, Maier, Maier, Maisch, Metzelder, Meyer,

Michl, Moll, Moosdorf, Mueller, Mutters, Neff, Neubauer, Neumüller, Nimsky,

Oertel, Oliver, Pagenstecher, Pape-Meyer, Plant, Peterlein, Preisig-Müller, Printz,

Renz, Riera-Knorrenschild, Richter, Röhm, Rominger, Rucholtz, Sahmland,

Schäfer, Schäfer, Schieffer, Schröder, Schu, Seifart, Seitz, Sekundo, , Sevinc,

Sommer, Stahl, Steiniger, Steinkamp, Timmesfeld, Vogt, Vogelmeier, Wagner,

Weihe, Werner, Westermann, Wiegand, Wilhelm, Wrocklage, Wulff, Zemlin,

Zovko

11.2 Danksagung

Ich möchte mich bei Herrn Prof. Dr. med. A. Teymoortashf dem Chef der Hals-Nasen-Ohrenheilkunde am Universitätsklinikum Marburg bedanken, dass mir diese Arbeit ermöglicht wurde.

Beonders möchte ich mich bei meinem Betreuer Herrn PD Dr. C. Güldner bedanken. Er war mir bei der statistischen Auswertung und Verfassung der Arbeit eine große Hilfe. Durch schnelle und konstruktive Kritik und Korrektur der Arbeit war diese in dieser Form erst möglich.

Meine Eltern haben mich während meiner schulischen Laufbahn stets unterstützt und mir das Studium ermöglicht. Danke, dass ihr in allen Hochs und Tiefs für mich da seid, ich hab euch lieb und bin ich sehr dankbar für alles, was ihr für mich getan habt und tun werdet.

Mein Freund hat mir während der Verfassung dieser Arbeit ein Zuhause gegeben und stand mir mit Rat und Tat, vor allem bei technischen Fragen und seelischer Unterstützung, zur Seite. Danke dass du mich immer wieder motiviert hast und auch für die ein oder andere Abwechslung gesorgt hast.

Danke auch an meinen großen Bruder und meine lieben Freunde, denen ich mein groooooßes Leid klagte, die stets ein offenes Ohr hatten und immer an mich geglaubt haben.

